M. PETRESCU-PRAHOVA
I. BUZU
I. IORGA-SIMĂN

FIZICĂ

VII

MINISTERUL EDUCAŢIEI ŞI ÎNVĂŢĂMÎNTULUI

M. Petrescu-Prahova I. Buzu I. Iorga-Simăn

FIZICĂ

Manual pentru clasa a VII-a



Editura Didactică şi Pedagogică — Bucureşti

Capitolul 1

Obiectul şi metodele fizicii

1.1. Fizica — ştiinţă a naturii

Introducere

Fizica este o ştiinţă a naturii; ea studiază o categorie distinctă de fenomene din natură, numite fenomene fizice (daţi exemple de cîteva asemenea fenomene). Însăşi denumirea acestei ştiinţe derivă de la cuvîntul grecesc „*fizis*", care înseamnă natură. Fizica a apărut şi s-a dezvoltat atît din nevoia de a rezolva diferite probleme, izvorîte din viaţa şi activitatea practică a oamenilor, cît şi din dorinţa de cunoaştere, proprie fiinţei umane. Primele studii şi descoperiri au fost făcute în antichitate, ca de exemplu, electrizarea corpurilor prin frecare, reflexia şi legile reflexiei luminii ş.a. Dezvoltarea fizicii ca ştiinţă a fost posibilă datorită dezvoltării producţiei materiale care a permis realizarea primelor instrumente de cercetare, cum sînt de exemplu luneta şi microscopul (apărute pe la 1600), şi pe baza acumulării unor date culese din diferite observaţii şi experimente. Cei care au adus fizica la nivelul la care ea se află astăzi, cei care au pătruns tainele ei, i-au descoperit legile şi aplicaţiile practice sînt savanţii, oameni de geniu, ale căror nume au rămas nepieritoare o dată cu opera pe care au realizat-o. Să cităm numele numai ale cîtorva asemenea oameni de care sînt legate descoperiri fundamentale: Arhimede, marele învăţat al antichităţii (287—212 î.e.n.), G. Galilei (1567—1642), I. Newton (1643—1727), M. Faraday (1791—1867), J. Maxwell (1831—1879), A. Einstein (1879—1955).

În ţara noastră, fizica se studiază din a doua jumătate a secolului al XVIII-lea şi a fost predată şi dezvoltată prin contribuţia unor oameni de seamă cum sînt: Teodor Stamati, Alexe Marin, Ştefan Micle, Emanuel Bacaloglu, Dimitrie Negreanu, Constantin Miculescu, Dragomir Hurmuzescu ş.a.

În anii construcţiei socialiste partidul şi statul nostru au acordat o deosebită atenţie dezvoltării bazei materiale şi sistemului de organizare a învăţămîntului fizicii şi cercetării ştiinţifice. A fost înfiinţat centrul de fizică de la Măgurele (Bucureşti), numeroase alte centre de învăţămînt şi cercetare, în care lucrează fizicieni, ingineri, alţi specialişti. Fizica este considerată astăzi o ştiinţă fundamentală care, alături de celelalte ştiinţe, joacă un rol important în dezvoltarea economiei naţionale, în educarea şi formarea ştiinţifică a tinerilor, în pregătirea lor pentru muncă şi viaţă.

Metode de lucru. Metoda experimentului științific

Numeroase fenomene fizice se pot observa direct cu ajutorul simțurilor noastre. Așa sînt: deformarea unui resort, reflexia luminii pe o oglindă, încălzirea apei dintr-un vas etc. Alte fenomene nu se pot pune în evidență direct cu ajutorul simțurilor, de exemplu propagarea luminii cu o viteză finită, starea de magnetizare a unui corp, mișcarea moleculelor din care sînt alcătuite substanțele etc. Atît într-un caz cît și în celălalt fenomenele se studiază cu ajutorul unor aparate și instalații, care permit să se facă măsurări precise. Prin prelucrarea datelor culese în urma acestor măsurări se poate cunoaște legătura dintre diferite laturi ale fenomenului studiat, se trag concluzii, se găsesc și se formulează legi fizice. Această metodă de lucru bazată pe experimente de laborator se numește *metoda inductivă* sau *experimentală*.

Există și o altă cale de a cerceta în fizică. Pe baza anumitor date și legi cunoscute se deduc în mod logic, de cele mai multe ori prin calcul matematic, anumite consecințe care sînt formulate ca noi adevăruri științifice sau ca noi legi fizice. Această metodă se numește *metoda deductivă sau teoretică*. Trebuie precizat însă că și rezultatele obținute pe cale deductivă trebuie verificate experimental și numai dacă experimentul confirmă rezultatul obținut teoretic acesta este definitiv admis ca adevăr sau lege fizică.

Dintre cele două metode cea mai mare pondere o are metoda experimentală. Ea se folosește pe larg atît în cercetarea științifică cît și în laboratorul școlar. Experimentul școlar se realizează în mai multe etape asemănător cu modul cum se realizează experimentul științific utilizat în cercetare. Aceste etape sînt următoarele: 1) *formularea ipotezei* care trebuie verificată experimental; 2) *proiectarea experimentului*; 3) *realizarea experimentului și înregistrarea datelor*; 4) *prelucrarea datelor și stabilirea concluziilor*.

Pentru a putea lucra cu ușurință în laborator și a realiza experiențele de fizică este necesar să cunoaștem componența trusei de fizică pentru gimnaziu, denumirea și rolul pieselor din trusă, modul lor de asamblare.

Rezultatul unei măsurări depinde de precizia aparatului cu care se lucrează, de îndemînarea celui care face experimentul și de alți factori. Nu putem pretinde niciodată că rezultatul unei singure măsurări a unei mărimi reprezintă valoarea adevărată a acelei mărimi. Ca dovadă, dacă vom face aceeași măsurare de mai multe ori sau dacă o vor face mai mulți experimentatori se vor obține rezultate puțin diferite. De obicei se fac mai multe măsurări ale unei mărimi, se înregistrează valorile obținute la fiecare măsurare și se calculează media aritmetică a acestor valori care se consideră ca fiind valoarea cea mai apropiată de valoarea adevărată a mărimii măsurate.

1.2. Mărimi fizice. Unități de măsură

Ați învățat în clasa a VI-a ce se înțelege prin mărime fizică (dați definiția mărimii fizice și exemple de mărimi fizice cunoscute). Descrierea unui fenomen, a proprietăților unui corp sau exprimarea unei legi fizice se face cu ajutorul mărimilor fizice. Despre o mărime fizică se poate vorbi în general, fără să precizăm valoarea ei numerică; de exemplu mișcarea unui mobil

se caracterizează la un moment dat printr-o anumită viteză, interacțiunea se caracterizează prin forța de interacțiune, o lentilă se caracterizează printr-o anumită distanță focală etc. Unele mărimi fizice se definesc pe baza unor relații matematice de definiție: de exemplu $v = d/t$, $\rho = m/V$.

Pentru a uniformiza modul de definire a mărimilor fizice și a unităților de măsură s-a introdus „Sistemul Internațional de Unități", notat prescurtat S.I., la care a aderat și țara noastră din anul 1961. În cadrul fiecărui sistem de unități se alege un număr minim de mărimi fizice cu respectivele unități, numite fundamentale. Toate celelalte mărimi și unități se numesc mărimi și unități derivate deoarece se deduc din unitățile fundamentale pe baza relațiilor care leagă între ele mărimile fizice. În S.I. se aleg șapte mărimi fizice fundamentale: *lungimea*, *timpul*, *masa*, *cantitatea de substanță*, *temperatura*, ***intensitatea curentului electric*** și ***intensitatea luminoasă***. Unitățile de măsură ale acestor mărimi sînt respectiv *metrul* (m), *secunda* (s), ***kilogramul*** (kg), *molul* (mol), *kelvinul* (K), *amperul* (A) *și candela* (cd), unități fundamentale.

De obicei, unitatea de măsură a unei mărimi derivate se stabilește chiar din relația prin care se definește acea mărime. Pentru a exprima unitatea de măsură se folosește o notație specială. Să luăm, ca exemplu, definirea unității de măsură a vitezei, în S.I. Se pleacă de la relația de definiție a vitezei $v = \frac{d}{t}$. Luînd deplasarea d și timpul t egale cu unitatea rezultă unitatea de măsură a vitezei. Vom scrie astfel: $[v]_{SI} = \frac{[d]^*}{[t]} = \frac{1\ m}{1\ s} = 1\ \frac{m}{s}$. Multiplii și submultiplii unităților de măsură se formează cu ajutorul unor prefixe ale căror denumiri și semnificații le prezentăm în tabelul de mai jos.

Denumirea	Simbolul	Semnificația	Denumirea	Simbolul	Semnificația
deca	da	10	deci	d	$10^{-1} = 0,1$
hecto	h	$10^2 = 100$	centi	c	$10^{-2} = 0,01$
kilo	k	$10^3 = 1\,000$	mili	m	$10^{-3} = 0,001$
mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$	micro	μ	$10^{-6} = 0,000\,001$
giga	G	$10^9 = 1\,000\,000\,000$	nano	n	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$
tera	T	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$	pico	p	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$

Exemple: 1 km = 10^3 m; 1 μm = 10^{-6} m = 0,000 001 m.

---

* Vă mirați că am scris $\frac{d}{t}$ și nu $\frac{\Delta d}{\Delta t}$? Explicația este foarte simplă. Δd reprezintă diferența a două distanțe, iar d este o distanță. Unitatea de măsură pentru distanțe și pentru diferența distanțelor este aceeași (metrul). De ex. 8 m − 3 m = 5 m.

1.3. Fenomen fizic. Lege fizică

Să considerăm un corp, de exemplu apa dintr-un vas, aflat la o anumită temperatură. Apa din vas se află într-o anumită „stare fizică" pe care, cel puţin într-o primă aproximaţie, o putem caracteriza astfel: „apa este un corp lichid, are un anumit volum, o anumită densitate şi o anumită temperatură". Dacă vom încălzi apa ea va trece într-o nouă stare fizică, va avea un alt volum, o altă densitate, o altă temperatură. Încălzind apa în continuare, la temperatura de 100°C ea va începe să fiarbă şi din nou se va modifica starea fizică a apei. La început a avut loc fenomenul de încălzire iar apoi fenomenul fizic de fierbere.

În general modificarea stării fizice a unui corp în urma interacţiunii cu un alt corp se numeşte fenomen fizic. Am învăţat că studiul fenomenelor fizice se face de obicei pe cale experimentală, căutîndu-se legăturile care există între mărimile fizice caracteristice corpurilor sau fenomenelor studiate. *Relaţiile între mărimile fizice se numesc legi fizice* (daţi exemple de cîteva legi studiate în clasa a VI-a). Legile fizice reprezintă adevăruri ştiinţifice obiective. Aceasta înseamnă că ele nu depind de voinţa oamenilor. Totodată trebuie subliniat faptul că legile fizice sînt valabile în anumite condiţii care trebuie dinainte precizate. Astfel, de exemplu, legea de mişcare $d = vt$ este valabilă numai în mişcarea uniformă. Dacă mişcarea este neuniformă (viteza se modifică în timpul mişcării), această lege nu mai poate fi aplicată pentru întreaga deplasare a mobilului, ci numai pentru un interval de timp foarte mic, în care putem admite că viteza mobilului a rămas neschimbată.

În multe cazuri legea fizică se exprimă printr-o dependenţă calitativă între anumite mărimi. Spunem atunci că ea este o lege calitativă. De exemplu, în clasa a VI-a am învăţat că un corp încălzit îşi măreşte volumul iar dacă este răcit îşi micşorează volumul. Legea calitativă prin care se poate exprima acest rezultat este următoarea: „la creşterea temperaturii unui corp volumul său se măreşte iar la micşorarea temperaturii volumul se micşorează".

Desigur însă că dorim şi este necesar să ştim mai mult în legătură cu dilataţia sau contracţia corpurilor.

De exemplu, în cazul prelucrării unei piese la strung trebuie să cunoaştem ce temperatură are piesa în timpul funcţionării şi în funcţie de aceste date putem calcula dimensiunile ei la prelucare. În acest scop se fac măsurări precise ale dimensiunilor şi se stabileşte legătura între dimensiunile corpului şi temperatura sa. Se găseşte astfel o lege cantitativă. *Legile fizice cantitative se exprimă prin relaţii matematice, prin grafice sau prin tabele de valori.*

Temă experimentală

Vă propunem ca, pe baza celor învățate în acest capitol introductiv, să efectuați unul sau mai multe din experimentele următoare, referitoare la unele fenomene studiate în clasa a VI-a:

a) Să se studieze relația între deplasarea d a corpului și durata t a mișcării în cazul unei mișcări rectilinii uniforme.

b) Să se studieze dependența între alungirea Δl a unui resort și greutatea G a corpului suspendat de acel resort.

c) Să se studieze relația între unghiul de incidență i și unghiul de reflexie r la reflexia luminii pe o oglindă. Pentru realizarea experimentelor propuse veți urmări să parcurgeți toate etapele expuse la pagina 4. În cadrul proiectării experimentului vă veți alege și mijloacele (piese și aparate) de care aveți nevoie. Pentru a vă obișnui să lucrați ordonat încercați să răspundeți în scris cum ați rezolvat etapele pe care vi le-ați propus în cadrul experimentului realizat.

Rezumat

Fizica este o știință a naturii care studiază fenomenele fizice. Ea folosește două metode de studiu și de cercetare: metoda experimentală sau inductivă și metoda teoretică sau deductivă. Într-un experiment se parcurg cîteva etape principale: formularea ipotezei, proiectarea experimentului, efectuarea experimentului și înregistrarea datelor, prelucrarea datelor și stabilirea concluziilor.

Fizica operează cu mărimi fizice. Unitatea de măsură a unei mărimi fizice M se notează [M]. Unitățile folosite pentru mărimile fizice fac parte din SI. Unitățile fundamentale ale SI sînt: m, s, kg, mol, K, A, cd. Relațiile între mărimile fizice se numesc legi fizice. Legile fizice pot fi calitative sau cantitative. Legile fizice cantitative se pot exprima prin tabele de valori, prin grafice și prin relații matematice.

Întrebări, exerciții, probleme

1. Studiați în laborator, cu materialele din trusa de fizică pentru gimnaziu, fenomenul de reflexie a luminii.

   a) Ce ipoteze puteți propune spre a fi verificate experimental?

   b) Cum vă gîndiți să realizați experimentul de verificare a ipotezei propuse?

2. Măsurăm de trei ori alungirea unui resort și găsim valorile $\Delta l_1 = 3{,}2$ cm, $\Delta l_2 = 3{,}4$ cm, $\Delta l_3 = 3{,}5$ cm. Care este valoa-

rea cea mai apropiată de valoarea adevărată a alungirii acelui resort?

R: 3,36 cm.

3. Densitatea unui corp se definește prin relația $\rho = \frac{m}{V}$ (m este masa, V volumul corpului). Stabiliți unitatea de măsură a densității în SI.

R: $[\rho] = \frac{1 \text{ kg}}{\text{m}^3}$.

4. Distanța de la Pămînt la Soare este de 150 000 000 km. Exprimați această distanță în Mm și în Gm.

R: d = 150 000 Mm = 150 Gm.

5. Cîte microsecunde sînt într-o secundă? Dar într-un minut?

R: 1 000 000; 60 000 000.

6. Viteza unui autoturism este 72 km/h. Să se exprime această viteză în m/s.

R: $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

7. Viteza unui mobil este $v = 4$ m/s. Cît este pătratul vitezei acelui mobil?

R: $v^2 = 16 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$.

8. Unitățile de măsură apar ca factori după valoarea numerică a mărimilor fizice. Ele se supun operațiilor de înmulțire, împărțire, ridicare la putere. Cum putem să folosim această observație pentru a verifica, în primă aproximație, corectitudinea unei relații? (De exemplu $m = V\rho$ sau $s = vt$.)

R: Scriind în formule și unitățile de măsură alături de valorile numerice. Efectuînd operații algebrice permise și asupra unităților, trebuie să obținem unitatea de măsură a mărimii calculate.

9. Un elev susține că o rază de lumină nu poate ieși niciodată din apă în aer. Un al doilea elev susține contrariul, că o rază de lumină iese totdeauna din apă în aer. Stabiliți care din ei are dreptate (temă experimentală).

10. Temperatura unui corp variază în timp conform datelor din următorul tabel:

t (s)	0	10	20	30	40	50	60
θ (°C)	10	11	12	13	14	14	14

Reprezentați grafic dependența temperaturii de timp.

11. Graficul obținut în urma unui experiment privind mișcarea unui mobil este cel din figura 1.1. Enunțați cîteva caracteristici ale mișcării mobilului. Aceeași întrebare relativă la graficul din figura 1.2.

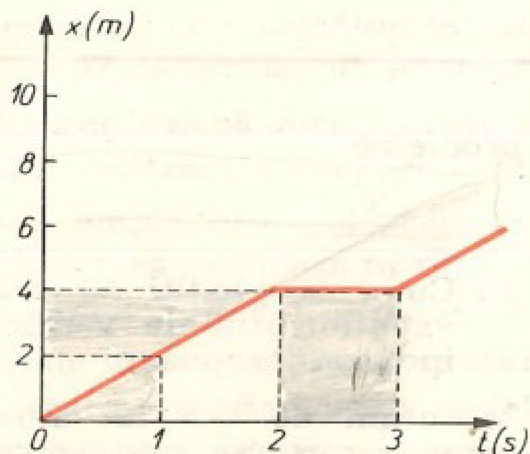


Fig. 1.1. Graficul mișcării primului mobil din problema 11.

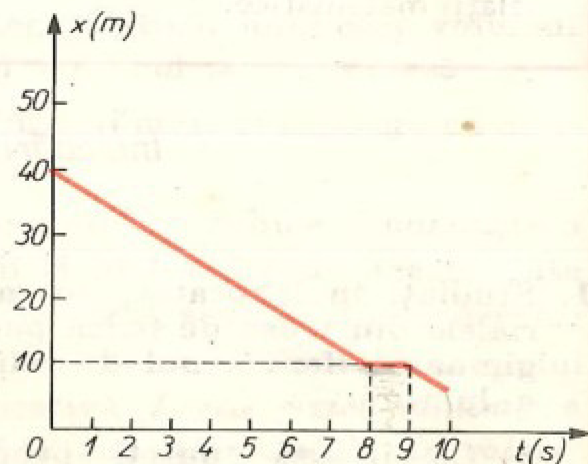


Fig. 1.2. Graficul mișcării celui de-al doilea mobil din problema 11.

Capitolul 2

Procese mecanice. Mărimi mecanice. Echilibrul mecanic

2.1. Forța

Efectele interacțiunii

Pe baza observării corpurilor din natură precum și prin experiențe efectuate în laborator, în decursul anului trecut, ați stabilit că prin interacțiune se modifică starea de mișcare a corpurilor sau forma lor.

E | *Experiment:* O bilă așezată pe o suprafață orizontală netedă poate fi pusă în mișcare lovind-o cu o riglă (fig. 2.1, *a*), deci prin acțiunea altui corp asupra ei. Dacă bila se află în mișcare, lovind-o cu rigla în sensul mișcării (fig. 2.1, *b*), observați o creștere a vitezei bilei. Lovind bila în sens contrar mișcării ei (fig. 2.1, *c*), se observă o scădere a vitezei sau chiar oprirea bilei. Datorită acțiunii riglei *valoarea vitezei bilei a variat:*

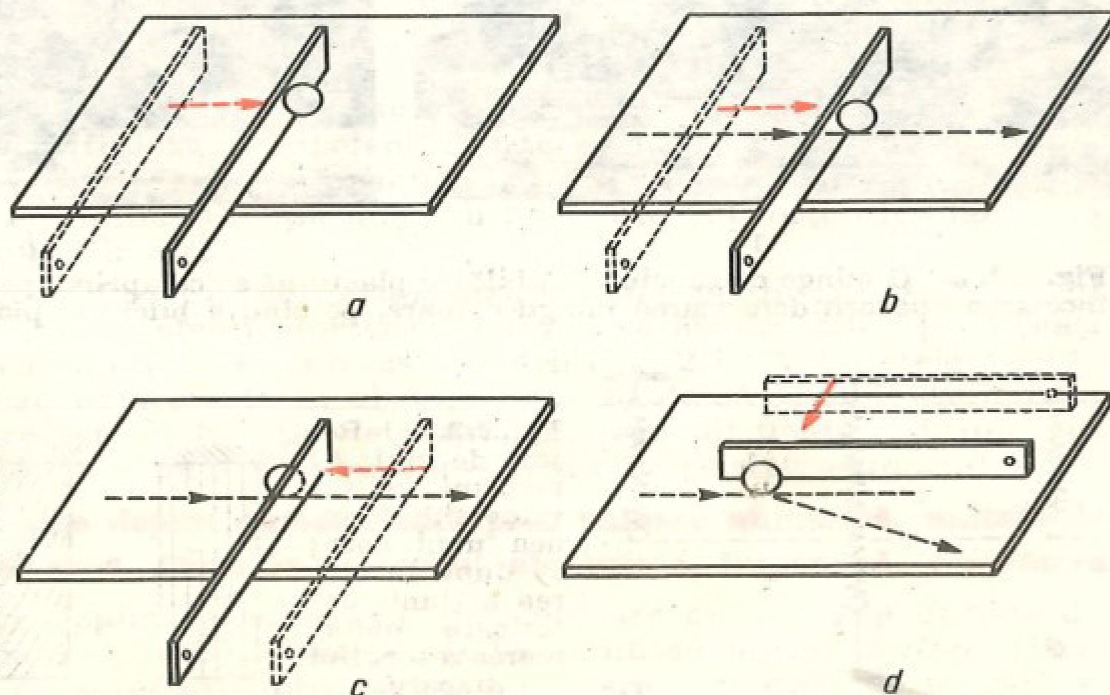


Fig. 2.1. Sub acțiunea unui corp: *a)* bila poate fi pusă în mișcare; *b)* viteza bilei poate crește; *c)* viteza bilei poate scădea; *d)* direcția de mișcare a bilei se poate modifica.

a crescut (de la zero sau de la o valoare diferită de zero) sau a scăzut (la zero sau la o valoare diferită de zero). Lovind bila lateral (fig. 2.1, *d*), observați că ea *își schimbă direcția mișcării.*

Concluzie: în toate cazurile studiate efectul acțiunii unui corp asupra altuia este *schimbarea stării de mișcare a corpului acționat*, prin schimbarea stării de mișcare înțelegîndu-se *variația valorii numerice a vitezei* sau *schimbarea direcției mișcării.*

Efectul interacțiunii dintre corpuri, de a schimba starea de mișcare a corpurilor care interacționează, se numește *efect dinamic.*

Dacă un corp nu se poate mișca în ansamblu, atunci ce efect va avea acțiunea altui corp asupra lui?

E *Experiment:* a) Apăsați în același timp, cu rigla, o minge de cauciuc și o bilă de plastilină, așezate pe un suport. Observați că atît mingea cît și bila se turtesc, se comprimă (fig. 2.2, *a*). După ce încetează apăsarea, mingea de cauciuc revine la forma inițială, pe cînd bila de plastilină rămîne deformată (fig. 2.2, *b*).

b) Se suspendă de un stativ un resort de oțel (fig. 2.3, *a*). De capătul inferior al resortului se atîrnă cîrligul pentru discuri (fig. 2.3, *b*). Se observă *întinderea* resortului. Dacă se scoate cîrligul, deci dacă încetează acțiunea lui asupra resortului, deformarea dispare (fig. 2.3, *c*).

c) Trasați mai multe linii paralele în lungul unui tub de cauciuc. Fixați un capăt (fig. 2.4, *a*) și rotiți capătul liber (fig. 2.4, *b*). Observați curbarea liniilor trasate, ceea ce indică *răsucirea*, deformarea tubului. După ce încetează acțiunea asupra tubului, liniile redevin paralele, deci defor-

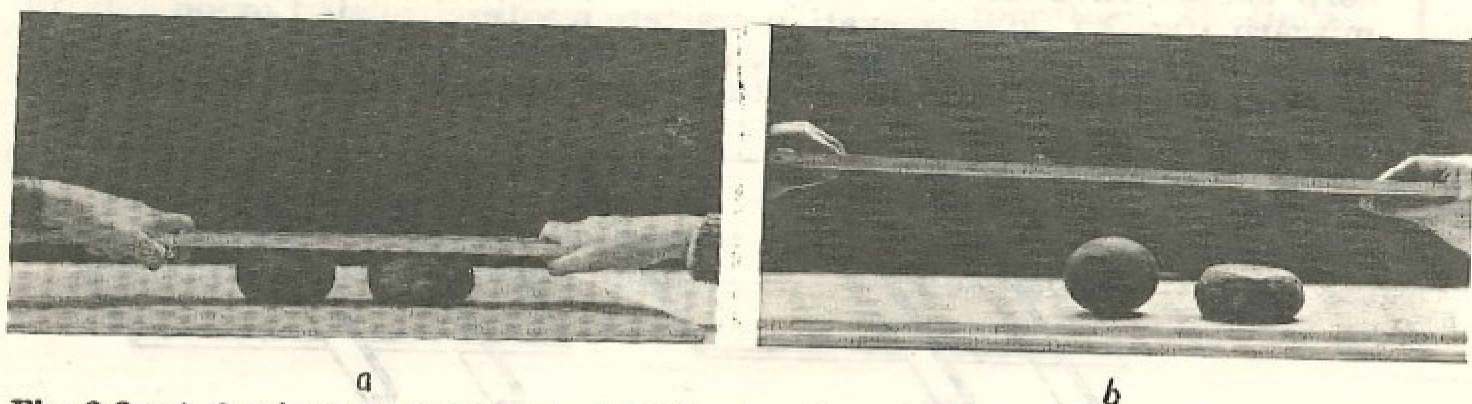


Fig. 2.2. *a)* O minge de cauciuc și o bilă de plastilină se comprimă prin apăsare; *b)* după încetarea apăsării deformarea mingii dispare, pe cînd a bilei de plastilină se menține.

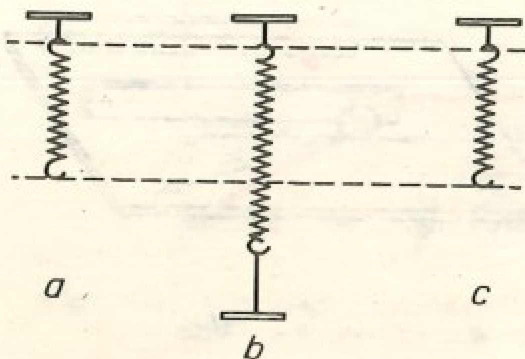


Fig. 2.3. *a)* Resort de oțel; *b)* resortul se întinde sub acțiunea unui corp; *c)* după încetarea acțiunii exterioare deformarea resortului dispare.

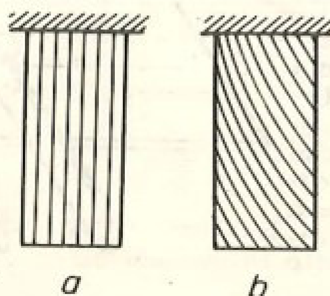


Fig. 2.4. *a)* Un tub de cauciuc fixat la un capăt; *b)* prin rotirea capătului liber, tubul se deformează.

marea dispare. Repetați același experiment cu o bară de plastilină. Observați că dacă acționați în același mod asupra barei ea se răsucește, iar după încetarea acțiunii, bara de plastilină rămîne deformată.

Concluzii:

1) Interacțiunea dintre corpuri poate avea ca efect nu numai *modificarea stării de mișcare*, ci și *deformarea corpurilor*. Comprimarea, întinderea, răsucirea reprezintă diferite feluri de deformări ale corpurilor.

2) Unele deformări dispar după încetarea interacțiunii (deformarea mingii de cauciuc, a resortului de oțel, a tubului de cauciuc), pe cînd alte deformări se mențin și după încetarea interacțiunii (a bilei de plastilină, a barei de plastilină).

Deformările care dispar după încetarea interacțiunii care le-a provocat se numesc *deformări elastice*. Deformările care se mențin și după încetarea interacțiunii care le-a provocat se numesc *deformări plastice*. Efectul de deformare a corpurilor care interacționează se numește *efectul static* al interacțiunii.

Așadar *interacțiunea dintre corpuri poate avea atît un efect dinamic, cît și un efect static* asupra corpurilor care interacționează. Pe baza unuia dintre aceste efecte, comparînd efectele unor interacțiuni diferite asupra aceluiași corp, se poate stabili de cîte ori efectul unei interacțiuni este mai mare decît efectul altei interacțiuni, deci de cîte ori o interacțiune este mai mare decît alta. Interacțiunea este o proprietate a corpurilor, care se exprimă cantitativ printr-o mărime fizică numită forță (F). În practică, pentru măsurarea forțelor se folosește aparatul numit dinamometru, bazat pe efectul static, de deformare a unui resort elastic. Unitatea de măsură stabilită pentru forță în SI se numește *newton* (N), după numele fizicianului englez I. Newton (1642—1727). Definiția newtonului a fost dată pe baza efectului dinamic al forței: *un newton este acea forță care, acționînd asupra unui corp cu masa de 1 kg, îi provoacă o variație a vitezei de 1 m/s în fiecare interval de timp de 1 s.*

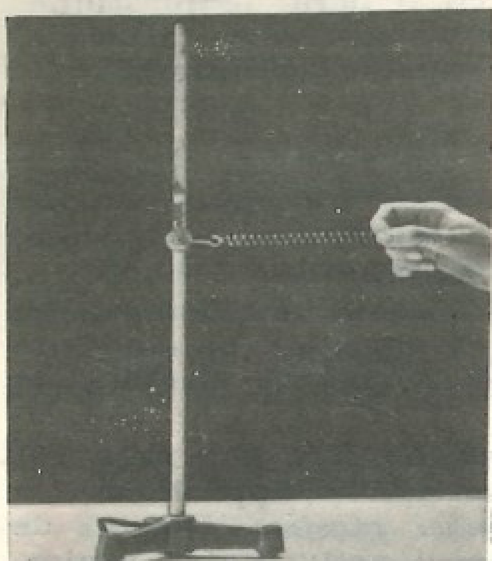
Forța — mărime vectorială

Comparați efectul unei forțe ce acționează asupra unei bile în mișcare, pe direcția mișcării ei (fig. 2.1, *b*), cu efectul forței ce acționează pe altă direcție decît cea a mișcării (fig. 2.1, *d*). În primul caz nu se modifică direcția mișcării în al doilea caz se schimbă direcția mișcării bilei. Efectul forței depinde deci de *direcția de acțiune a forței*.

Comparați efectul forței ce acționează asupra bilei pe direcția și în sensul mișcării ei (fig. 2.1, *b*) cu efectul forței ce acționează asupra bilei, pe aceeași direcție cu mișcarea ei, dar în sens opus mișcării (fig. 2.1, *c*). Efectele diferă: în primul caz viteza bilei crește; în al doilea caz scade. Acționînd cu o forță de-a lungul unui resort, în funcție de sensul ei, resortul poate fi întins sau comprimat. Rezultă că trebuie să se țină seamă și de *sensul de acțiune al forței*.

Așadar, forța este deplin caracterizată prin valoare numerică, unitate de măsură, direcție și sens. Direcția și sensul alcătuiesc, împreună, *orientarea*.

Mărimile fizice deplin caracterizate prin valoare numerică și unitate de măsură (de ex.: masă, volum, densitate etc.) se numesc *mărimi scalare*. Mărimile fizice deplin caracterizate prin valoare numerică, unitate de măsură și



orientare (direcţie şi sens) se numesc *mărimi vectoriale.* **Forţa este o mărime fizică vectorială,** care se reprezintă printr-un *vector.* Simbolul vectorului forţă este $\vec{F}$, spre deosebire de simbolul F, care reprezintă numai valoarea numerică a forţei. Două forţe $\vec{F}_1$ şi $\vec{F}_2$ sînt egale, $\vec{F}_1 = \vec{F}_2$, dacă au aceeaşi direcţie, acelaşi sens şi valori numerice egale, $F_1 = F_2$.

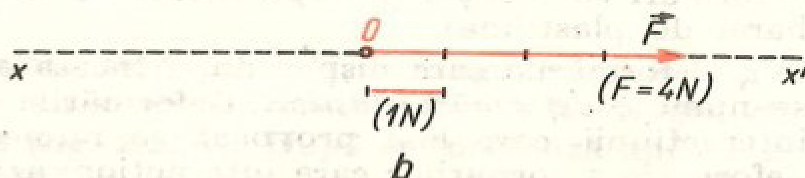
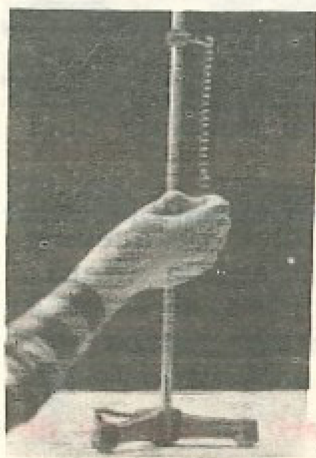


Fig. 2.5. *a)* Resortul este tras cu o forţă, pe direcţie orizontală, de la stînga la dreapta; *b)* forţa poate fi reprezentată printr-un segment de dreaptă orientat.

O mărime vectorială se poate reprezenta grafic printr-un **segment de dreaptă orientat.** Astfel, pentru a reprezenta grafic forţa $\vec{F}$ care trage resortul din figura 2.5, *a*, de valoare numerică 4 N, pe direcţia orizontală, de la stînga la dreapta, se reprezintă întîi *direcţia*, printr-o dreaptă orizontală xx' (fig. 2.5, *b*). Se alege pe această direcţie un punct O, numit *punct de aplicaţie al forţei*, adică punctul de pe resort în care acţionează forţa. Începînd din punctul de aplicaţie se reprezintă pe dreaptă, de la stînga la dreapta, un segment de dreaptă, de 4 ori mai lung decît un segment ales convenţional care să reprezinte 1 N. La capătul segmentului care reprezintă valoarea numerică $F = 4$ N a forţei, se figurează un vîrf de săgeată, prin care se indică *sensul* forţei. Dreapta pe care se află acest segment de dreaptă orientat se numeşte *suportul forţei.*

Forţa cu care este tras resortul din figura 2.6, *a*, de valoare numerică 3 N, este reprezentată grafic în figura 2.6, *b* printr-un segment de dreaptă orientat. În figura 2.7, este reprezentată grafic printr-un segment de dreaptă orientat forţa $\vec{F}$, de valoare numerică $F = 40$ N, cu care un copil trage o sanie, cu ajutorul unei sfori care face un unghi de 30° cu orizontala. Deoarece valoarea numerică este mare, s-a ales convenţional un segment care să reprezinte 10 N şi nu 1 N.



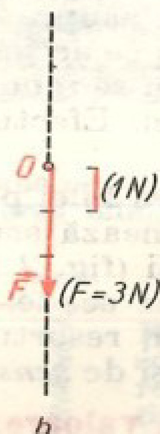
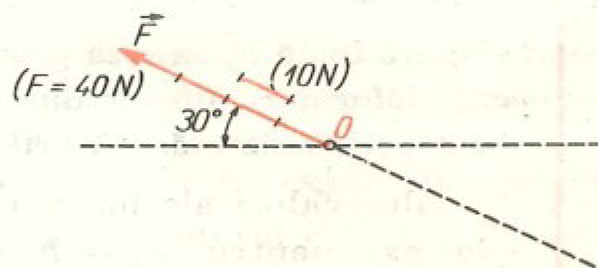


Fig. 2.6. *a)* Resortul este tras cu o forţă verticală, de sus în jos; *b)* reprezentarea forţei printr-un segment de dreaptă orientat.

Aşadar, *o mărime vectorială se poate reprezenta printr-un segment de dreaptă orientat, care are următoarele elemente: valoare numerică, direcţie, sens şi punct de aplicaţie.*



a



b

Fig. 2.7. Reprezentarea forţei cu care copilul trage sania *(a)*, printr-un segment de dreaptă orientat *(b)*.

Compunerea forţelor concurente

Rezultantă. Asupra unui corp se pot exercita mai multe forţe în acelaşi timp. Astfel, doi elevi pot acţiona în acelaşi timp asupra capătului liber al unui resort elastic, pe două direcţii diferite, ca în figura 2.8. Dinamometrele vor indica valorile celor două forţe $\vec{F}_1$ şi $\vec{F}_2$. Forţele $\vec{F}_1$ şi $\vec{F}_2$ au acelaşi punct de aplicaţie. Forţele cu acelaşi punct de aplicaţie se numesc *forţe concurente.*

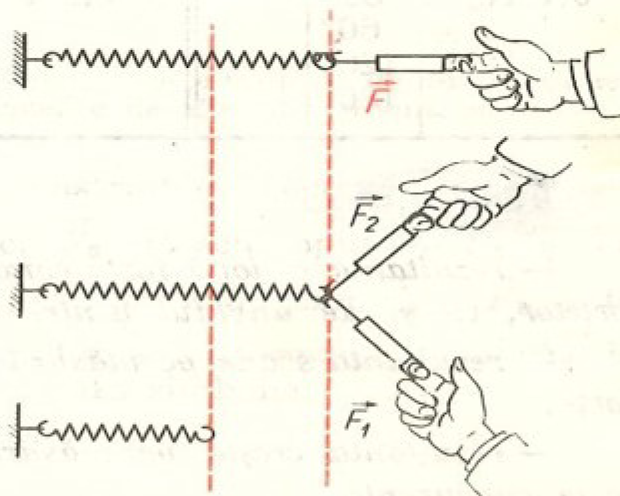


Fig. 2.8. Forţa $\vec{F}$ produce aceeaşi deformare ca şi forţele $\vec{F}_1$ şi $\vec{F}_2$ împreună.

Dacă $F_1 = F_2$, iar direcţiile celor două forţe sînt simetrice faţă de verticală, se observă că resortul se întinde pe verticală. Aceeaşi deformare a resortului se poate obţine dacă un singur elev trage capătul resortului prin intermediul unui dinamometru, vertical în jos, cu o altă forţă $\vec{F}$. *Forţa $\vec{F}$ care produce acelaşi efect ca forţele $\vec{F}_1$ şi $\vec{F}_2$ se numeşte forţă rezultantă.* Pentru a găsi legătura dintre două forţe concurente şi rezultanta lor, trebuie efectuat un experiment.

E | *Experiment:* Se utilizează dispozitivul din figura 2.8. Menţinînd aceeaşi valoare pentru forţele $\vec{F}_1$ şi $\vec{F}_2$ (de ex. 0,1 N) se modifică unghiul α

dintre ele, dîndu-i de exemplu valorile 30°, 60°, 120°, 180°. La fiecare nouă valoare a unghiului α, se înlocuiesc forțele $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ printr-o singură forță $\vec{F}$, care să producă aceeași deformare a resortului (fig. 2.9). Se repetă seria măsurătorilor și pentru alte valori ale forțelor $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ (de ex. pentru $F_1 = F_2 = 0,5$ N și pentru $F_1 = F_2 = 1$ N). Treceți rezultatele în rubricile notate cu F din următorul tabel:

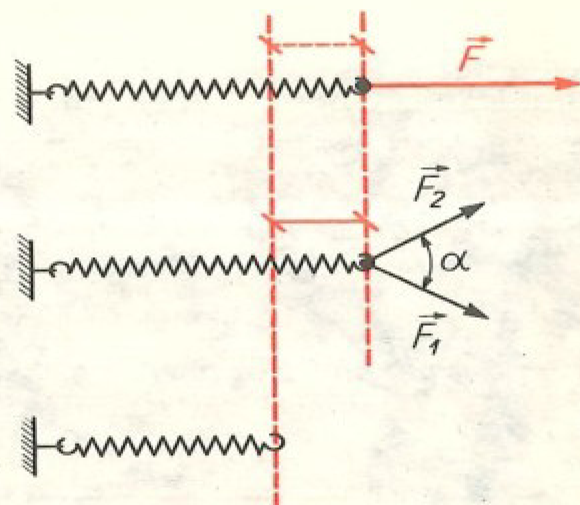


Fig. 2.9. Reprezentarea forțelor $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ și $\vec{F}$ prin segmente de dreaptă orientate.

$F_1 = F_2$	α	F	$F_1 = F_2$	α	F	$F_1 = F_2$	α	F
0,1 N	30°		0,5 N	30°		1 N	30°	
	60°			60°			60°	
	120°			120°			120°	
	180°			180°			180°	

Concluzii:

— rezultanta a două forțe concurente depinde atît de valorile numerice ale forțelor, cît și de unghiul dintre direcțiile lor;

— rezultanta scade pe măsură ce crește unghiul dintre direcțiile celor două forțe;

— rezultanta crește pe măsură ce cresc valorile numerice ale celor două forțe concurente.

Așadar, rezultanta forțelor nu poate fi găsită, în cazul general, prin adunarea algebrică a valorilor lor, ci trebuie stabilită o altă regulă de compunere a forțelor. Dacă se reprezintă forțele $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ și rezultanta lor $\vec{F}$ prin segmente de dreaptă orientate, cu același punct de aplicație (fig. 2.10), se observă că între acești trei vectori este o legătură geometrică: vectorul $\vec{F}$ este diagonală în paralelogramul construit cu vectorii $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ ca laturi. Înainte de a formula o regulă de compunere a forțelor pe baza acestei observații, trebuie să se verifice dacă această legătură dintre cele trei forțe $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}$ se menține în cazul în care forțele $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ nu mai au valori numerice egale.

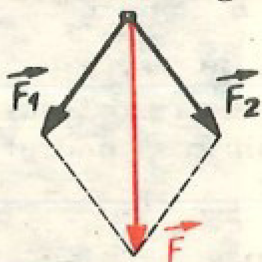


Fig. 2.10. Vectorul $\vec{F}$ este diagonală în paralelogramul construit cu vectorii $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ ca laturi.

E *Experiment:* Fixați în trei puncte ale unei mese de laborator trei dinamometre (fig. 2.11, *a*). Legați o sfoară de 10–20 cm lungime la mijlocul unei alte sfori de 30 cm. Fiecare dintre cele trei capete ale sforilor le fixați la cîrligul a cîte unui dinamometru, astfel ca sforile să fie bine întinse, iar nodul central să stea în repaus. Dinamometrele vor indica cele trei forțe $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ care acționează asupra nodului. Pe o foaie de hîrtie, așezată pe masă sub nod, trasați direcțiile celor trei dinamometre cînd nodul este în repaus. Pe direcțiile trasate, reprezentați cei trei vectori forță (fig. 2.11, *b*). Construiți un paralelogram cu vectorii $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ ca laturi și comparați diagonala lui cu vectorul $\vec{F}_3$.

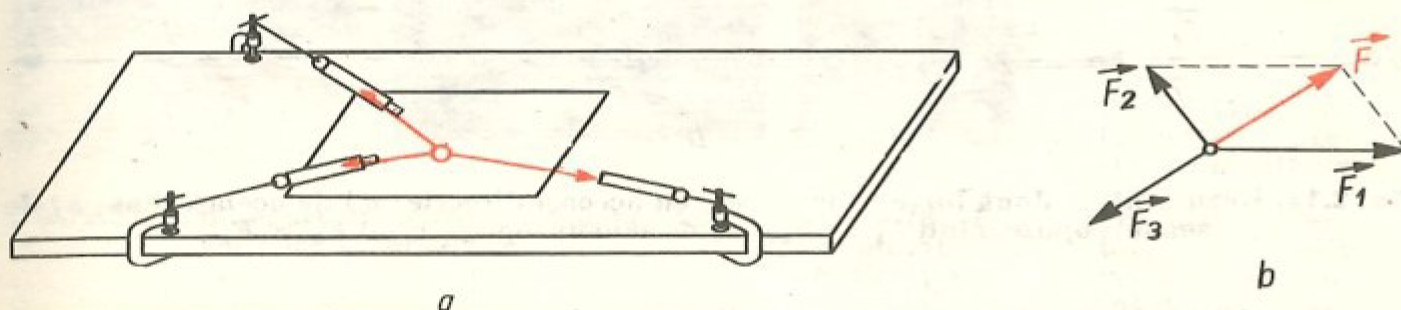


Fig. 2.11. *a)* Nodul este în repaus, sub acțiunea celor trei forțe indicate de dinamometre; *b)* reprezentarea celor trei forțe prin segmente de dreaptă orientate.

Concluzie: diagonala paralelogramului construit cu vectorii $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ ca laturi este un vector $\vec{F}$, cu același suport ca $\vec{F}_3$, de sens opus lui $\vec{F}_3$ și cu aceeași valoare numerică. Efectul forței $\vec{F}$, rezultanta forțelor $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$, este compensat de efectul forței $\vec{F}_3$, astfel încît nodul este în repaus. Operația de compunere (sau adunare) a două forțe se notează simbolic:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}$$

unde $\vec{F}$ este *forța rezultantă*.

Așadar, *rezultanta a două forțe concurente poate fi găsită prin* **regula paralelogramului:** *se construiește paralelogramul care are ca laturi forțele ce se compun, iar rezultanta este vectorul reprezentat de diagonala ce începe din punctul de aplicație al celor două forțe* (fig. 2.12).

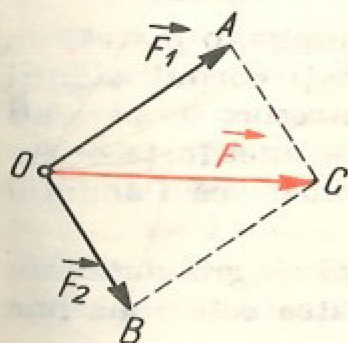


Fig. 212. Regula paralelogramului pentru compunerea a două forțe concurente.

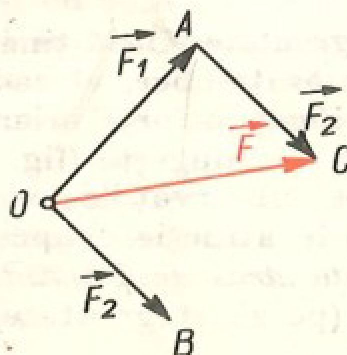


Fig. 2.13. Regula triunghiului pentru compunerea a două forțe concurente.

În figura 2.12 se observă că aceeași rezultantă $\vec{F}$, a forțelor $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$, se poate găsi construind numai triunghiul OAC. De aceea, pentru compunerea a două forțe concurente se poate folosi o altă regulă, echivalentă, numită **regula triunghiului:** *se reprezintă vectorul $\vec{F}_1$, apoi vectorul $\vec{F}_2$ cu punctul de aplicație în vîrful lui $\vec{F}_1$; rezultanta $\vec{F}$ se obține unind punctul de aplicație al lui $\vec{F}_1$ cu vîrful lui $\vec{F}_2$* (fig. 2.13).

Din figurile 2.12 și 2.13 se observă că în triunghiul OAC latura OC este mai mică decît suma laturilor OA și AC, adică $F < F_1 + F_2$ (a nu se confunda cu relația vectorială $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$).



Fig. 2.14. Rezultanta a două forțe concurente, cu aceeași direcție: *a)* de același sens; *b)* de sensuri opuse, cînd $F_1 > F_2$; *c)* de sensuri opuse, cînd $F_2 > F_1$.

Dacă forțele $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ au aceeași direcție și același sens (fig. 2.14, *a*), aplicînd regula triunghiului se obține o rezultantă $\vec{F}$, a cărei valoare numerică este $F = F_1 + F_2$ și care are direcția și sensul forțelor $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$. Verificați acest rezultat folosind un resort elastic și două dinamometre.

În cazul unor forțe $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ care au aceeași direcție, dar sensuri opuse (fig. 2.14, *b*, *c*) prin regula triunghiului se obține o rezultantă $\vec{F}$, care are valoarea numerică $F = |F_1 - F_2|$ și sensul forței mai mari. Verificați acest rezultat printr-un experiment.

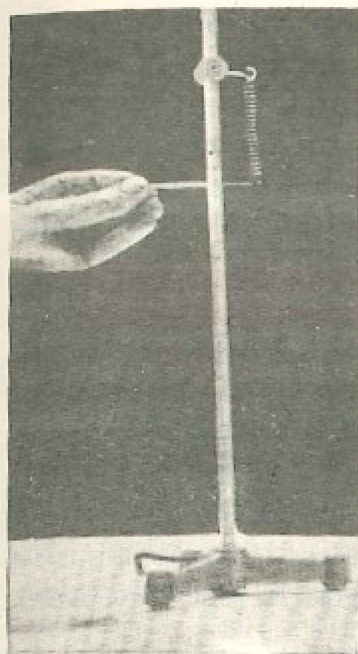
Așadar, *două forțe concurente se compun (se adună) prin regula paralelogramului sau prin regula triunghiului ($\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$); valoarea numerică a rezultantei (F) este minimă cînd unghiul dintre ele este de 180° și este maximă cînd unghiul dintre ele este de 0°:*

$$F_1 - F_2 \leqslant F \leqslant F_1 + F_2.$$

Tipuri de forțe

a) **Forța de greutate.** Dacă țineți în mînă un corp (o minge, o piatră, un creion etc.) și îl lăsați liber, el cade. Dacă vreți să ridicați corpul, simțiți că trebuie să învingeți o forță orientată de sus în jos. Un resort de care ați suspendat un corp se lungește (fig. 2.15), indicînd acțiunea unei forțe orientate de sus în jos. Observațiile experimentale duc la concluzia că Pămîntul exercită o forță de atracție asupra corpurilor.

Orice corp este atras de Pămînt cu o forță, numită forță de gravitație sau forță de greutate (pe scurt greutate). Ca orice forță, **greutatea este o mărime**



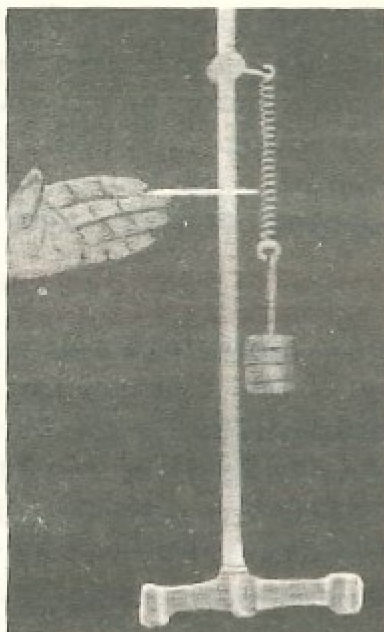


Fig. 2.15. Un resort de care s-a suspendat un corp se lungește.

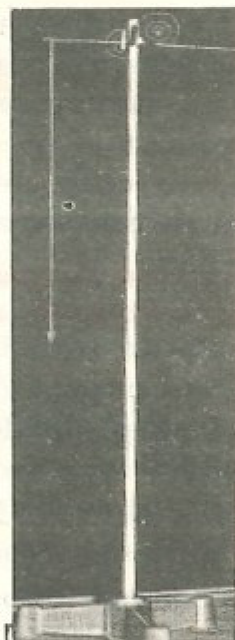


Fig. 2.16. Firul cu plumb indică direcția verticală.

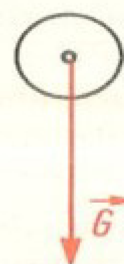


Fig. 2.17. Greutatea se reprezintă printr-un segment de dreaptă orientat, pe direcție verticală, cu sensul de sus în jos.

fizică vectorială. Ea se notează cu simbolul $\vec{G}$. Se caracterizează prin valoare numerică, direcție, sens, punct de aplicație. Direcția forței de greutate este indicată de *firul cu plumb* (fig. 2.16). Această direcție, care trece prin centrul Pămîntului, este numită *direcție verticală*. Sensul forței de greutate este îndreptat *spre centrul Pămîntului*. Pentru fiecare corp, punctul ei de aplicație este un anumit punct al corpului, numit *centru de greutate*. Greutatea $\vec{G}$ poate fi reprezentată printr-un segment de dreaptă orientat, avînd direcția verticală și sensul de sus în jos (fig. 2.17).

Valoarea numerică a greutății poate fi determinată cu dinamometrul. Fiind o forță, unitatea ei de măsură în SI este newtonul (N).

Ați învățat anul trecut că, în același loc de pe suprafața Pămîntului, raportul dintre mărimea greutății G a unui corp și masa lui m are aceeași valoare, g, pentru orice corp: $G/m = g$. Între greutatea unui corp și masa sa există deci o relație de directă proporționalitate:

$$G = mg.$$

Constanta g variază cu altitudinea și cu latitudinea și anume scade pe măsură ce crește distanța de la centrul Pămîntului. Așadar, greutatea unui corp are valori diferite în funcție de altitudine și latitudine, pe cînd masa lui rămîne constantă. În țara noastră, la nivelul mării, valoarea constantei g este de aproximativ 9,8 N/kg.

Nu numai Pămîntul, ci și toate celelalte corpuri exercită forțe de atracție. Astfel, pe Lună corpurile sînt atrase cu forțe de șase ori mai mici decît pe Pămînt. De aceea, cosmonauții care au aselenizat au putut face sărituri mult mai înalte pe Lună decît pe Pămînt.

b) **Forța elastică.** La studiul efectului static al forțelor ați observat că unele deformări, numite elastice, dispar după ce încetează acțiunea care le-a produs (fig. 2.2, 2.3, 2.4). Revenirea corpurilor la starea inițială se face sub acțiunea unei forțe, care se opune deformării corpului, numită *forță elastică.* Datorită forței elastice, un corp deformat care acționează asupra altui corp îi poate modifica starea de mișcare. Puteți observa acest efect al forței elastice printr-un experiment.

E *Experiment:* Așezați un resort pe o suprafață orizontală, foarte lucioasă, și fixați-i unul dintre capete (fig. 2.18). Comprimați resortul, împingînd capătul liber cu un corp paralelipipedic de lemn. Dacă încetați acțiunea, corpul paralelipipedic este împins înapoi de resortul care se destinde, sub acțiunea forței elastice. Comprimați resortul din ce în ce mai mult și eliberați-l. Veți observa că el acționează din ce în ce mai intens asupra corpului de lemn, care se deplasează pe distanțe din ce în ce mai mari.

Concluzie: forța elastică depinde de deformarea resortului, ea crește pe măsură ce crește deformarea lui.

Un corp suspendat de un resort se află în repaus dacă valoarea numerică a forței elastice F_e, care se opune alungirii resortului, este egală cu valoarea numerică a forței de greutate G (fig. 2.19): $G = F_e$. Ați stabilit anul trecut,

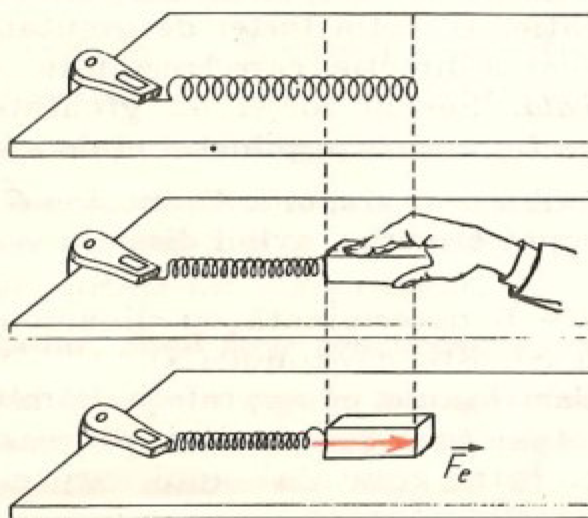


Fig. 2.18. Resortul este comprimat cu ajutorul corpului paralelipipedic.



Fig. 2.19. În resortul deformat apare o forță elastică, ce se opune deformării.

pe baza unor experimente, că între forța de greutate $\vec{G}$ care deformează un resort și alungirea Δl produsă există o relație de directă proporționalitate (legea deformărilor elastice): $G = k \cdot \Delta l$. Așadar, *valoarea numerică a forței elastice F_e este direct proporțională cu alungirea Δl:*

$$F_e = k \cdot \Delta l.$$

În această relație, constanta de proporționalitate dintre forța elastică și alungire, numită *constantă elastică a resortului*, s-a notat cu k. Unitatea de

măsură în SI pentru constanta elastică este *newton pe metru* $\left(\frac{N}{m}\right)$ și se deduce din relația anterioară:

$$[k]_{SI} = \frac{[F]_{SI}}{[l]_{SI}} = \frac{N}{m}.$$

Forța elastică apare într-un corp deformat; are o astfel de orientare încît se opune deformării corpului; valoarea sa numerică este direct proporțională cu deformarea.

c) **Forța de frecare.** O minge care se rostogolește pe o suprafață orizontală, dacă nu mai este acționată de nici un jucător, își micșorează viteza și în cele din urmă se oprește. Cauza schimbării stării de mișcare a unui corp este acțiunea unei forțe. Putem presupune că suprafața de sprijin acționează asupra mingii cu o forță ce are ca efect scăderea vitezei mingii, deci este îndreptată în sens opus mișcării ei. Pentru a verifica această ipoteză, efectuați un experiment.

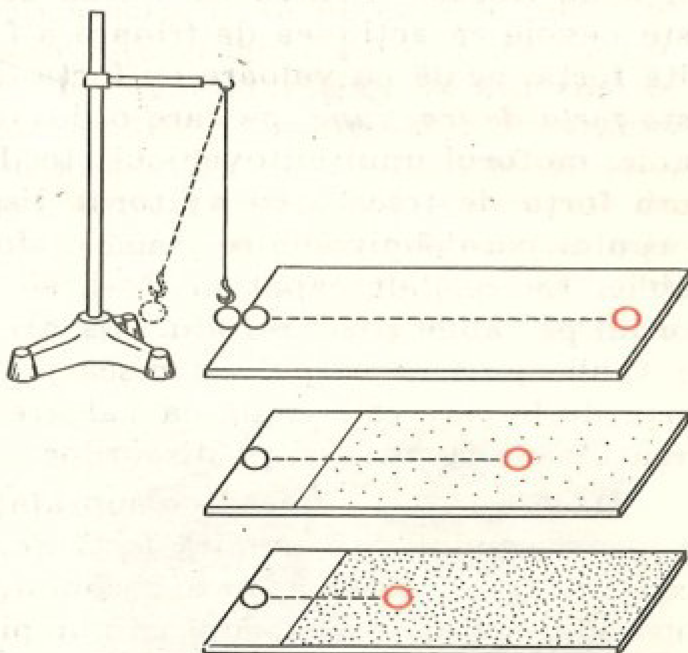


Fig. 2.20. Suprafețe cu diferite asperități frînează mișcarea bilei în mod diferit.

E | *Experiment:* Suspendați o bilă de un suport (fig. 2.20). Așezați altă bilă pe o suprafață orizontală, netedă (o placă de sticlă), astfel încît bilele să se atingă. Ridicați bila suspendată și apoi lăsați-o liberă, astfel încît în cădere să lovească cealaltă bilă. Bila lovită va începe să se rostogolească și după o anumită distanță se va opri. Repetați experimentul, așezînd pe suprafața orizontală, în calea bilei, mai întîi o foaie de sugativă și apoi o foaie de șmirghel. De fiecare dată ridicați bila suspendată pînă la aceeași înălțime, pentru ca prin ciocnire să imprime celeilalte bile aceeași viteză inițială. Observați distanțele după care se va opri bila. Veți constata că bila se oprește după o distanță mai mică pe hîrtia sugativă decît pe sticlă și după o distanță și mai mică pe hîrtia de șmirghel.

Concluzie: forța care determină scăderea vitezei bilei depinde de felul suprafeței pe care se mișcă bila, de asperitățile acestei suprafețe.

Această forță este exercitată de suprafața pe care se face mișcarea și are ca efect frînarea corpului; ea se opune mișcării lui. *Forța care ia naștere la suprafața de contact dintre două corpuri și se opune mișcării unui corp față de celălalt se numește* **forță de frecare.** Forța de frecare produce frînarea mișcării unui corp față de alt corp, cu care este în contact; orientarea forței de frecare este **în sens opus sensului de mișcare a corpului.**

Ați observat cît de greu mergeți pe gheață sau cît de greu puteți ține în mînă un obiect alunecos, de exemplu un pește. Dacă nu ar exista frecare mersul nu ar fi posibil, n-am putea ține obiectele în mînă, șuruburile nu s-ar putea fixa în piulițe, vehiculele n-ar putea opri și nici porni. Rezultă că *în foarte multe cazuri frecarea este utilă.*

Asupra unui corp ce se mișcă pe suprafața altuia se exercită totdeauna o forță de frecare. Pentru ca viteza corpului să se poată menține constantă, este nevoie ca acțiunea de frînare a forței de frecare să fie compensată de o altă forță, egală ca valoare cu forța de frecare, dar de sens opus ei. Aceasta este *forța de tracțiune*, pe care o dezvoltă, de exemplu, un copil care trage o sanie, motorul unui autovehicul etc. Pe baza acestei constatări se poate măsura forța de frecare cu ajutorul dispozitivului din figura 2.21. De cîrligul corpului paralelipipedic se leagă o sfoară care trece peste scripetele fixat la tăblie. La celălalt capăt al sforii se leagă cîrligul pentru discuri. Se așază corpul pe tăblie și se introduc discuri pe cîrlig; se ciocănește ușor cu degetul în tăblie pînă ce corpul se mișcă pe tăblie *cu viteză constantă.* În acest caz forța de frecare este egală ca valoare cu forța de tracțiune, reprezentată de greutatea cîrligului și a discurilor.

Dacă un corp alunecă pe suprafața altuia, forța de frecare ce acționează asupra corpului este numită *forță de frecare de alunecare.* Astfel de forțe se exercită de exemplu asupra corpului paralelipipedic din figura 2.21, asupra unei sănii pe zăpadă, asupra unui piston într-o pompă, asupra unui șurub introdus într-o piuliță etc. În cazul rostogolirii unui corp pe o suprafață (o minge, o roată etc.) asupra corpului acționează o *forță de frecare de rostogolire.* Cu dispozitivul din figurile 2.21, 2.22 se poate compara forța de frecare de alunecare cu forța de frecare de rostogolire.

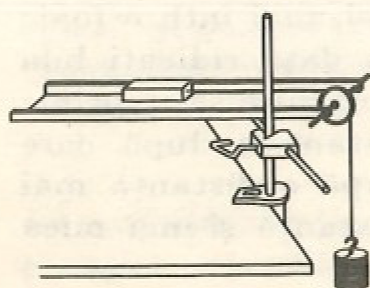


Fig. 2.21. Dispozitiv pentru măsurarea forței de frecare de alunecare.

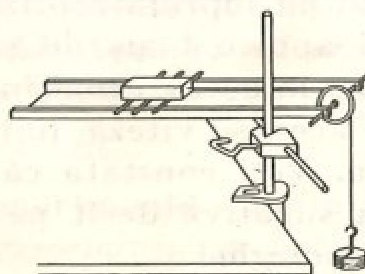


Fig. 2.22. Măsurarea forței de frecare de rostogolire.

E *Experiment:* Se determină, cu metoda arătată, forța de frecare ce acționează asupra corpului paralelipipedic în două situații: cînd corpul se sprijină direct pe táblie (fig. 2.21) și apoi cînd corpul se sprijină pe 3—4 creioane rotunde, așezate între tăblie și corp (fig. 2.22). Observați că în al doilea caz sînt necesare mai puține discuri pentru a asigura mișcarea uniformă.

Concluzie: pentru corpuri cu mase egale, forța de frecare de rostogolire este mai mică decît forța de frecare de alunecare.

În practică, frecarea dintre piesele aflate în mișcare ale mașinilor și utilajelor este, în multe cazuri, dăunătoare. Astfel, datorită frecării, piesele se uzează, iar forța motoare necesară pentru punerea lor în mișcare este cu atît mai mare, cu cît trebuie să învingă forțe de frecare mai mari. *Micșorarea forței de frecare se poate realiza în tehnică prin ungerea suprafețelor de contact dintre piese* cu un strat subțire de lubrifiant (ulei, vaselină) și prin *înlocuirea frecării de alunecare prin frecare de rostogolire.*

În cazul roților unui vehicul, între roți și suprafața pe care se mișcă se exercită frecare de rostogolire, dar între osia roții și lagăr se exercită frecare de alunecare. Pentru micșorarea frecării, la lagărele roților se înlocuiește frecarea de alunecare prin frecare de rostogolire, cu ajutorul rulmenților. Rulmentul (fig. 2.23) este format dintr-un ansamblu de două inele de oțel, concentrice, între care sînt așezate, în niște șanțuri speciale, bile sau role de oțel. Inelul interior al rulmentului se fixează pe axul roții, iar cel exterior este fixat în roată. Lagărele cu rulmenți sînt utilizate pe scară largă în construcția de mașini: tractoare, strunguri, motoare electrice, elicele avioanelor, turbine, automobile, biciclete etc.

Principiul acțiunilor reciproce

Cînd v-ați plimbat cu barca pe lac, ați putut constata că, dacă împingeți cu vîsla în mal, deci acționați cu o forță asupra malului, barca se îndepărtează de mal, ca și cum ar fi împins-o malul cu o forță.

În experimentul ilustrat de figura 2.20 se exercită o interacțiune de scurtă durată, o ciocnire între bila suspendată și bila de pe suprafața orizontală. Repetați experimental, observînd de data aceasta ce se întîmplă după ciocnire cu bila suspendată. Veți constata că, după ciocnire, ea își modifică viteza. Rezultă că și asupra bilei suspendate s-a exercitat o forță, care i-a modificat starea de mișcare. Așadar, în timpul ciocnirii, fiecare bilă a acționat asupra celeilalte cu cîte o forță.



Fig. 2.23. Rulmenți de fabricație românească. În fotografie au fost secționați, pentru a se observa mai bine părțile componente.

E *Experiment:* La fiecare capăt al unei bucăţi de sfoară se leagă cîte un dinamometru. Doi elevi trag de capetele libere ale dinamometrelor (fig. 2.24, *a*). Se citesc indicaţiile celor două dinamometre pentru diferite întinderi ale resorturilor lor.

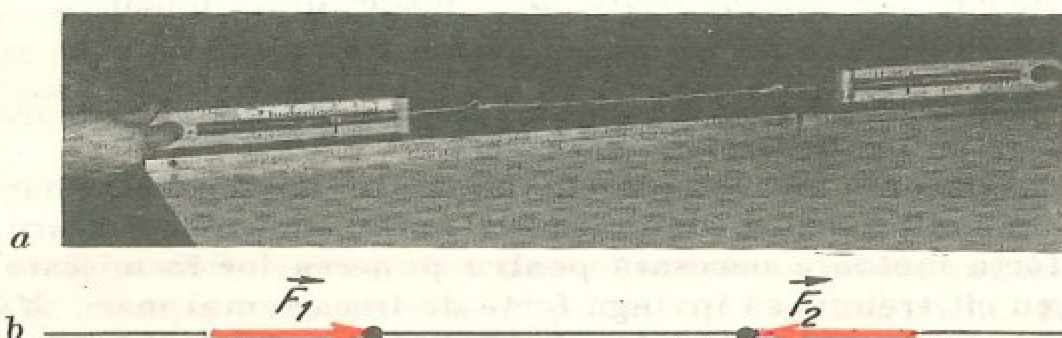


Fig. 2.24. Forţele $\vec{F}_1$ şi $\vec{F}_2$ au valori egale, aceeaşi direcţie şi sensuri opuse.

Concluzie: forţele $\vec{F}_1$ şi $\vec{F}_2$ cu care elevii acţionează unul asupra celuilalt au valori egale, acţionează pe aceeaşi direcţie şi au sensuri opuse (fig. 2.24, *b*).

Din exemplele arătate, precum şi din analiza oricărei alte interacţiuni, rezultă că ambele corpuri care participă la interacţiune îşi modifică fie starea de mişcare, fie forma. Aşadar, *ori de cîte ori se exercită o forţă, ca acţiune a unui corp asupra altuia, apare şi o a doua forţă, ca acţiune a celui de-al doilea corp asupra celui dintîi.* Cele două forţe care exprimă acţiunea reciprocă (interacţiunea) dintre două corpuri se numesc *acţiune* şi *reacţiune.* În natură nu există forţe izolate, ci întotdeauna forţele apar perechi, cu puncte de aplicaţie diferite: acţiune şi reacţiune. Fiecare forţă din pereche are ca efect schimbarea stării de mişcare sau deformarea unuia dintre cele două corpuri care interacţionează.

Constatările făcute pe baza a numeroase observaţii şi măsurători ale forţelor de interacţiune dintre corpuri au fost formulate într-un principiu, cunoscut sub numele de *principiul acţiunilor reciproce* sau *principiul acţiunii şi reacţiunii:*

dacă un corp acţionează asupra altui corp cu o forţă (acţiunea), cel de-al doilea corp acţionează asupra celui dintîi cu o altă forţă, de aceeaşi valoare, pe aceeaşi direcţie, dar în sens opus (reacţiunea).

Între cele două forţe, acţiunea $\vec{F}_1$ şi reacţiunea $\vec{F}_2$, se poate scrie, aşadar, relaţia:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

Un corp suspendat de un resort (fig. 2.19) acţionează asupra resortului cu o forţă egală cu greutatea sa $\vec{G}$. Ca efect, corpul acţionat — resortul — se deformează. Resortul deformat acţionează şi el asupra corpului cu forţa elastică $\vec{F}_e$, îndreptată în sus, care compensează efectul forţei de atracţie a Pămîntului $\vec{G}$, astfel încît corpul nu mai cade, ci rămîne suspendat.

Un corp așezat pe o platformă orizontală, de greutate neglijabilă, sprijinită pe un resort, este atras de Pămînt cu o forță $\vec{G}$ (fig 2.25, *a*). Corpul acționează asupra resortului cu o forță $\vec{F}$, egală cu greutatea sa: $\vec{F} = \vec{G}$. Ca efect, resortul se comprimă.

Resortul comprimat acționează și el asupra corpului cu o forță elastică $\vec{F}'$, ce se opune comprimării (fig. 2.25, *b*).

Această forță va compensa efectul greutății asupra corpului, astfel încît corpul va fi în repaus pe platformă. Un astfel de fenomen se petrece ori de cîte ori un corp este așezat pe suprafața altuia. Spre deosebire de cazul resortului, deformarea este atît de mică, încît trece neobservată.

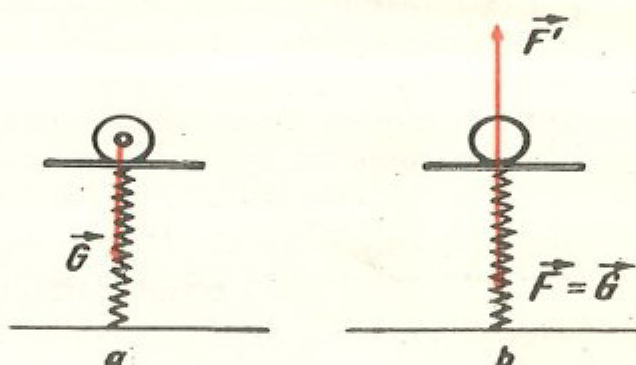


Fig. 2.25. Corpul apasă resortul cu o forță $\vec{F} = \vec{G}$, iar resortul acționează asupra corpului cu forța elastică $\vec{F}'$, ce se opune comprimării.

Rezumat

Interacțiunea dintre corpuri poate avea atît efect *dinamic* (schimbarea stării de mișcare), cît și efect *static* (deformare elastică sau plastică) asupra corpurilor care interacționează.

Forța este pe deplin caracterizată prin valoare numerică (și unitate de măsură), punct de aplicație și orientare (direcție, sens); forța este o mărime fizică vectorială. Ea se poate reprezenta grafic printr-un segment de dreaptă orientat (vector).

Forța care, înlocuind două forțe, produce același efect ca și ele se numește *forță rezultantă*. Rezultanta a două forțe concurente se obține prin *regula paralelogramului* sau prin regula triunghiului.

Orice corp este atras de Pămînt cu o forță numită greutate. Greutatea are punctul de aplicație în centrul de greutate al corpului, direcție verticală, sensul spre centrul Pămîntului, iar valoarea ei numerică este direct proporțională cu masa corpului.

Forța elastică, ce apare într-un corp deformat, are o astfel de orientare încît se opune deformării corpului, iar valoarea sa numerică este direct proporțională cu deformarea.

La suprafața de contact dintre două corpuri ia naștere *forța de frecare*, care se opune mișcării unui corp față de celălalt. Forța de frecare este orientată în sens opus sensului de mișcare a corpului. Pentru corpuri cu masele egale, forța de frecare de rostogolire este mai mică decît forța de frecare de alunecare.

Principiul acțiunilor reciproce arată că în natură nu există acțiuni izolate, ci numai interacțiuni: dacă un corp acționează asupra altui corp cu o forță, cel de-al doilea acționează asupra celui dintîi cu o altă forță de aceeași valoare, pe aceeași direcție, dar în sens opus.

1. Doi copii au legat două sfori în același punct al unui cărucior și trag fiecare cu cîte o forță de 20 N, astfel încît între sfori este un unghi de 90°. a) Să se reprezinte cele două forțe la scara 1 cm = 10 N. b) Să se compare cei doi vectori forță. c) Ce forță de frecare se exercită între roțile căruciorului și asfalt, dacă viteza lui este constantă?

Rezolvare. a) Se reprezintă suporturile forțelor, prin două drepte care se intersectează într-un punct și care formează între ele un unghi de 90° (fig. 2.26, *a*). Începînd din punctul de intersecție *O* se reprezintă pe fiecare suport cîte un segment de dreaptă orientat, cu lungimea de cîte 2 cm. Se notează cei doi vectori $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$. b) Vectorii $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ au valori numerice egale $F_1 = F_2 = 20$ N, au același punct de aplicație, dar au direcții și sensuri (orientări) diferite. De aceea vectorii $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ nu sînt egali: $\vec{F}_1 \neq \vec{F}_2$. c) Viteza căruciorului este constantă dacă efectul forțelor $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ este compensat de efectul forței de frecare $\vec{F}_f$ dintre roți și asfalt. Forța care ar produce același efect ca și forțele $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ este rezultanta lor $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$. Ea poate fi găsită cu ajutorul regulii paralelogramului: se construiește paralelogramul care are vectorii $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ ca laturi (fig. 2.26, *a*), ducînd prin vîrful lui $\vec{F}_1$ o paralelă la $\vec{F}_2$ și prin vîrful lui $\vec{F}_2$ o paralelă la $\vec{F}_1$. Diagonala paralelogramului care începe din punctul *O* este rezultanta forțelor $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$. Putem considera că asupra căruciorului se exercită două forțe: forța $\vec{R}$ (care le înlocuiește pe $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$) și forța de frecare $\vec{F}_f$. Deoarece viteza căruciorului rămîne constantă, înseamnă că efectele celor două forțe, $\vec{R}$ și $\vec{F}_f$, se compensează, deci rezultanta lor este nulă: $\vec{R} + \vec{F}_f = 0$. Acest lucru este posibil numai dacă forțele $\vec{R}$ și $\vec{F}_f$ au aceeași direcție, sensuri opuse și valori numerice egale, astfel încît $R - F_f = 0$ (fig. 2.26, *b*). Se măsoară în figura 2.26, *a* lungimea diagonalei și se obțin 2,8 cm. Ținînd seamă de scara aleasă (1 cm = 10 N), rezultă că $R = 28$ N. Așadar, forța de frecare este $F_f = 28$ N.

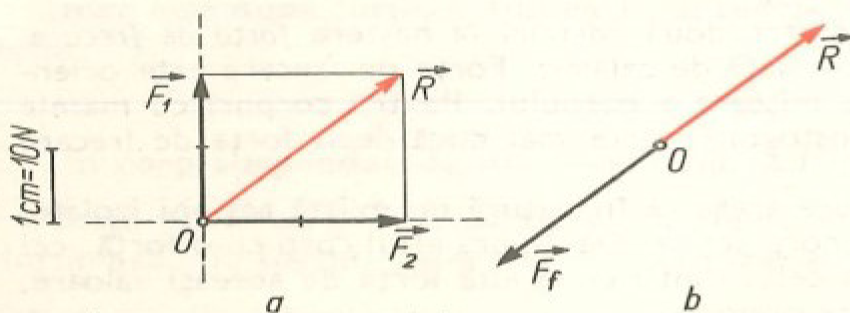


Fig. 2.26. Pentru problema rezolvată 1.

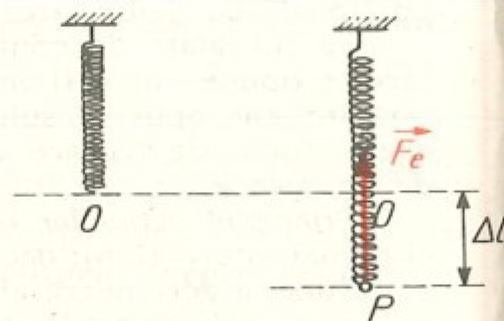


Fig. 2.27. Pentru problema rezolvată 2.

2. Ce forță elastică apare într-un resort de constantă elastică $k = 150$ N/m cînd este alungit cu $\Delta l = 1$ cm? Reprezentați această forță.

Rezolvare: Forța elastică din resort are valoarea numerică $F_e = k \cdot \Delta l = 150$ N/m $\cdot$ 0,01 m $= 1{,}5$ N. Are punctul de aplicație în punctul P, la capătul resortului deformat (fig. 2.27) și este orientată în sens opus alungirii resortului, adică spre punctul O, unde s-ar găsi capătul resortului nedeformat. Se reprezintă forța elastică $\vec{F}_e$ în lungul resortului, cu punctul de aplicație în P, cu sensul de la P spre O, printr-un segment de lungime 1,5 cm (la scara 1 cm = 1 N).

Întrebări, exerciții, probleme

1. Ce se întîmplă cu viteza unui corp în următoarele situații:

a) asupra corpului nu acționează nici o forță;

b) asupra corpului acționează o forță, pe direcția și în sensul mișcării;

c) asupra corpului acționează o forță, pe direcția mișcării și în sens invers mișcării.

2. Indicați care din următoarele efecte pot fi obținute prin acțiunea unei singure forțe asupra unui corp:

a) creșterea vitezei;

b) menținerea vitezei constante;

c) scăderea vitezei;

d) schimbarea direcției de mișcare.

3. Cum sînt forțele reprezentate la aceeași scară în figura 2.28?

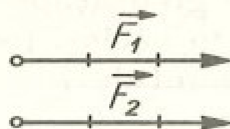


Fig. 2.28. Pentru problema 3.

4. În figura 2.29 sînt reprezentate două forțe: $\vec{F}_1$, la scara 1 cm = 10 N și $\vec{F}_2$, la scara 1 cm = 20 N. Care este valoarea numerică a celor două forțe? Ce elemente comune au cei doi vectori $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$? Se poate afirma că $\vec{F}_1 = \vec{F}_2$? Dar că $F_1 = F_2$?

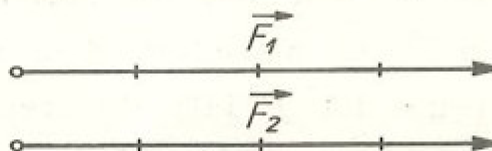


Fig. 2.29. Pentru problema 4.

5. Vectorii din figura 2.30 reprezintă, la aceeași scară, patru forțe. Ce elemente comune au aceste forțe? Este corectă relația $F_1 = F_2 = F_3 = F_4$? Dar $\vec{F}_1 = \vec{F}_2 = \vec{F}_3 = \vec{F}_4$?

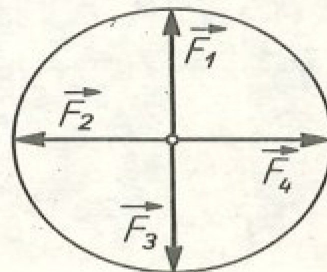


Fig. 2.30. Pentru problema 5.

6. Suspendați de cîrligul unui dinamometru, unul sub celălalt, două corpuri de greutate $G_1 = 5$ N și $G_2 = 10$ N. Ce greutate G trebuie să aibă un al treilea corp care, suspendat în locul celor două, să producă același efect? Verificați experimental. Scrieți relația dintre vectorii $\vec{G}_1$, $\vec{G}_2$, $\vec{G}$

și relația dintre valorile lor numerice.

R: $G = 15$ N; $\vec{G} = \vec{G}_1 + \vec{G}_2$; $G = G_1 + G_2$.

7. Realizați un dispozitiv ca acela din figura 2.31: fixați două dinamometre pe stative; legați de cîrligele lor, cu ajutorul unor sfori, un corp de greutate cunoscută. Reprezentați prin segmente de dreaptă orientate greutatea corpului și cele două forțe $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ indicate de dinamometre. Verificați regula paralelogramului pentru compunerea celor două forțe concurente $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$. Cum trebuie să fie rezultanta lor $\vec{R}$ față de greutatea corpului, cînd corpul este în repaus?

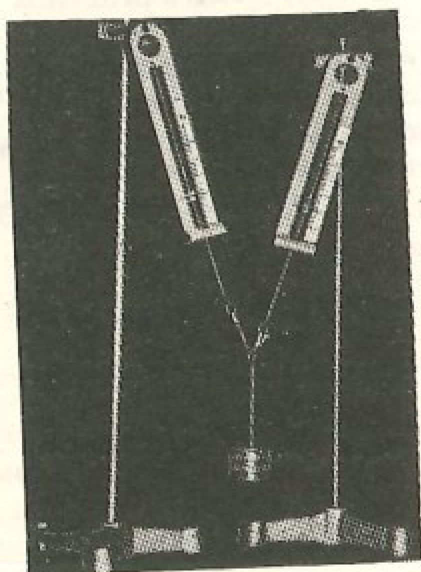


Fig. 2.31. Pentru problema 7.

8. Forțele $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, și $\vec{R}$ din problema 7 satisfac relația: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{R}$. După determinarea valorii lor numerice verificați dacă este adevărată și relația: $F_1 + F_2 = R$. În ce caz ar putea fi satisfăcută și această relație?

9. Așezați o monedă pe marginea mesei. Împingeți-o brusc, pe direcție orizontală, astfel încît să cadă în afara mesei. Observați mișcarea monedei după ce a părăsit suprafața de sprijin și indicați: a) ce forțe acționează asupra ei; b) ce orientare au aceste forțe față de viteza inițială a monedei; c) ce efect au aceste forțe.

10. Aruncați o minge de la sol vertical în sus. Observați ce se întîmplă cu viteza ei. Explicați ce forțe determină aceste variații ale mișcării mingii.

11. Ce efect dinamic poate avea greutatea unui corp asupra corpului? Poate avea și efect static?

12. Pămîntul are masă? Dar greutate?

13. Ce se întîmplă cu greutatea rucsacului dacă plecați într-o excursie în lungul paralelei care trece prin punctul de plecare? Dar în lungul meridianului?

14. În ce condiții este posibil ca două corpuri, care au masele egale, să aibă greutăți diferite?

15. Este posibil ca două corpuri, de mase diferite, să aibă greutăți egale?

16. Un corp are masa de trei ori mai mare decît altul. Care este raportul greutăților celor două corpuri, în același loc pe suprafața Pămîntului?

R: 3.

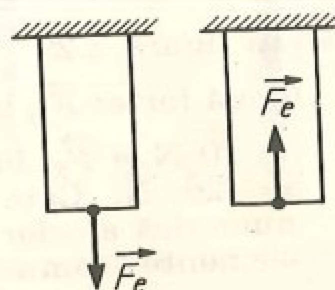


Fig. 2.32. Pentru problema 17.

17. În figura 2.32 sînt reprezentate două tuburi de cauciuc deformate și forțele elastice care au apărut. Precizați cum a fost deformat fiecare corp: prin alungire sau prin comprimare?

18. O bilă suspendată de un resort elastic este în repaus. Trageți bila vertical în jos și apoi lăsați sistemul liber. Urmăriți mișcarea bilei de o parte și de alta a poziției ei inițiale. Reprezentați forța elastică din resort cînd bila este în poziția inițială, cînd bila este deasupra și dedesubtul poziției inițiale.

19. Care este alungirea unui resort elastic de constantă elastică 1000 N/m, dacă forța elastică este de 10 N?

R: 1 cm.

20. Ce forță elastică apare într-un resort de constantă elastică 200 N/m cînd este comprimat cu 2 cm? Reprezentați această forță.

R: 4 N.

21. Suspendați un corp de greutate cunoscută, pe rînd, de trei resorturi elastice diferite. Măsurați de fiecare dată alungirea și determinați constantele elastice ale resorturilor. a) Ce concluzie puteți trage cu privire la constantele elastice ale unor resorturi diferite? b) Dacă se schimbă resortul unui dinamometru, se pot păstra notațiile de pe scara gradată?

22. Pentru a împinge un dulap pe podea, cu viteză constantă, este necesară o forță de 400 N. Ce forță de frecare se exercită între dulap și podea? Reprezentați aceste două forțe prin segmente de dreaptă orientate.

R: 400 N.

23. Forța de frecare dintre roțile unui cărucior și asfalt este de 80 N. Cu ce forță trebuie tras căruciorul pentru a-l deplasa cu o viteză constantă de 0,5 m/s? Dar pentru a-l deplasa cu o viteză constantă de 0,6 m/s? Reprezentați prin segmente de dreaptă orientate forța de frecare și forța de tracțiune ce acționează asupra căruciorului.

R: 80 N.

24. Un corp este tras cu o viteză constantă pe o suprafață orizontală, prin intermediul unui dinamometru (fig.2.33). Ce forță indică dinamometrul: greutatea corpului sau forța de frecare?

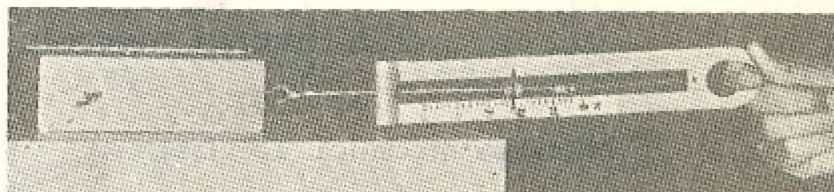


Fig. 2.33. Pentru problema 24.

25. În figura 2.34, corpul A este așezat pe un cărucior, iar greutatea corpului B trage de capătul firului. Reprezentați forțele de interacțiune dintre corpul A și cărucior. Descoperiți în acest caz existența unei forțe de frecare care să determine deplasarea și nu oprirea unui corp? Verificați experimental.

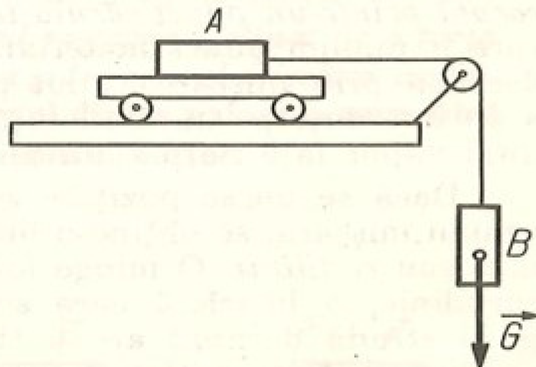


Fig. 2.34. Pentru problema 25.

26. Un om aflat într-o barcă trage de o sfoară, legată de un stîlp de pe mal. Identificați corpurile care interacționează, forțele de acțiune și reacțiune, precum și efectele acestor forțe. Reprezentați forțele.

27. O carte este în repaus pe masă. Se exercită forțe asupra ei? În caz afirmativ, indicați care sînt aceste forțe și reprezentați-le prin segmente de dreaptă orientate.

28. Corpul C este atras de Pămînt cu o forță $\vec{G}$, numită greutatea corpului (fig. 2.35). Care este, în cazul interacțiunii corp-Pămînt, cea de-a doua forță? Reprezentați-o. Ce efect are forța $\vec{G}$? Dar forța de reacțiune?

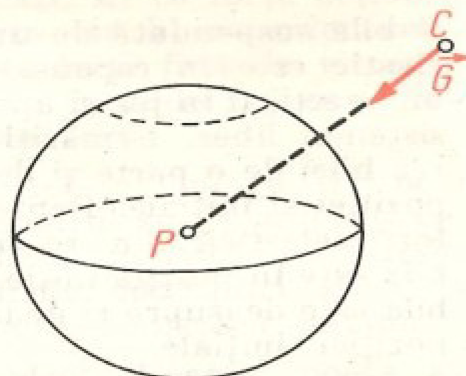


Fig. 2.35. Pentru problema 28.

2.2. Lucrul mecanic și energia mecanică

Mișcarea mecanică. Deplasarea

Ați observat adesea mișcarea unui automobil. În timp ce automobilul se mișcă față de clădirile sau arborii de pe marginea șoselei, roțile lui se rotesc în jurul osiilor, volanul se rotește în jurul axei lui. Pentru determinarea poziției automobilului pe șosea nu este însă necesar să se țină seamă și de mișcările diferitelor lui părți componente. Este suficient să se cunoască distanța de la un punct A, ales ca reper pe șosea, la un punct P al automobilului (fig. 2.36).

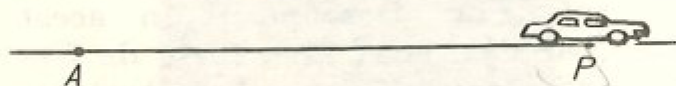


Fig. 2.36. Pentru a preciza poziția unui automobil, el poate fi înlocuit printr-un punct.

Astfel, în loc să urmărim deplasarea automobilului reprezentat în figura 2.36, ne vom referi la mișcarea punctului P. Prin urmare, *ne reprezentăm corpul printr-un punct căruia îi atribuim o masă egală cu masa corpului* și pe care îl numim **punct material.** Nu numai mișcarea unui automobil poate fi descrisă prin mișcarea unui punct material, ci și mișcările altor corpuri: a unei săniuțe pe un derdeluș, a unei mingi față de copilul care o aruncă, a unui vapor față de port, a unui avion față de aeroport etc.

Dacă se unesc pozițiile succesive în care se află punctul material în timpul mișcării, se obține o linie numită *traiectorie*. Traiectoriile pot fi *curbilinii* sau *rectilinii*. O minge lovită de un jucător de fotbal are o traiectorie curbilinie, o bicicletă care se deplasează paralel cu marginea trotuarului pe o stradă dreaptă are o traiectorie rectilinie. Uneori traiectoria poate rămîne vizibilă. Astfel se întîmplă, de exemplu, în cazul unei biciclete cu cauciucurile ude pe o șosea uscată.

Poziția punctului material pe traiectorie poate fi precizată prin distanța de la un punct de pe traiectorie, ales ca reper, pînă la punctul material. Distanța de la reper la punctul material este numită *coordonată* și se notează cu litera d. În cazul unui automobil care circulă între două localități, A și B, se poate alege ca reper punctul A, în prima localitate (fig. 2.37). Distanța străbătută între două puncte se numește **deplasare.** Deplasarea automobilului între punctele M_1 și M_2 este egală cu diferența coordonatelor punctului final (d_2) și a punctului inițial (d_1). Folosind simbolul Δ pentru diferență, vom putea scrie deplasarea între M_1 și M_2: $\Delta d = d_2 - d_1$. Deplasarea automobilului între punctul A și punctul M_1 este egală tot cu diferența dintre coordonata punctului final (d_1) și coordonata punctului inițial (0). Cu ajutorul figurii 2.37 se observă că deplasarea totală între A și B este egală cu suma deplasărilor între punctele intermediare (de la A la M_1, de la M_1 la M_2 și de la M_2 la B).

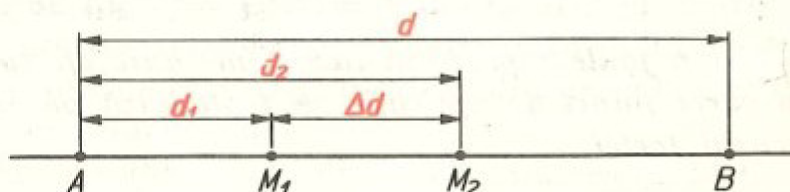


Fig. 2.37. Coordonatele și deplasarea unui mobil pe traiectorie.

Lucrul mecanic

În timpul mișcării, corpurile din natură sînt acționate de una sau mai multe forțe. Mișcarea unui corp sub acțiunea unei forțe reprezintă un proces fizic, în care corpul trece de la poziția și viteza inițială la poziția și viteza finală. În cazul cel mai simplu, forța $\vec{F}$ este constantă și acționează pe direcția și în sensul mișcării corpului, care are o deplasare Δd, între punctele M_1 și M_2 (fig. 2.38). Astfel de procese se întîlnesc de exemplu la un automobil, al cărui motor dezvoltă o forță de tracțiune constantă, la un cărucior împins de un copil, la o macara care ridică o sarcină etc. Pentru caracterizarea cantitativă a acestor procese fizice se definește o nouă mărime fizică, numită **lucru mecanic,** notată simbolic cu litera L. *Lucrul mecanic efectuat de o forță constantă, ce acționează asupra unui corp pe direcția și în sensul mișcării corpului, este o mărime fizică scalară* definită prin **produsul dintre valoarea numerică a forței și deplasarea corpului pe direcția și în sensul forței:**

$$\boxed{L = F \cdot \Delta d}$$

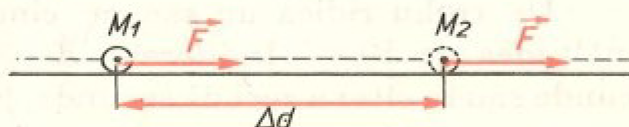


Fig. 2.38. O forță constantă care acționează asupra unui corp pe direcția și în sensul mișcării corpului.

Din această definiție rezultă că o forță ce acționează asupra unui corp care rămîne în repaus nu efectuează lucru mecanic, deoarece în acest caz deplasarea $\Delta d = 0$. Așadar, *pentru ca o forță să poată efectua lucru mecanic, ea trebuie să-și deplaseze punctul de aplicație.*

Trebuie precizat faptul că termenul de lucru mecanic utilizat în fizică reprezintă mărimea fizică definită prin relația $L = F \cdot d$ și deci nu corespunde cuvîntului „lucru" folosit în limbajul curent. Astfel, în vorbirea curentă se poate spune că un sportiv care ține în mînă, în repaus, o halteră de 50 kg, lucrează. Din punctul de vedere al fizicii sportivul nu efectuează însă lucru mecanic, conform relației $L = F \cdot \Delta d$. Sportivul va efectua lucru mecanic numai în timp ce ridică haltera.

Unitatea de măsură pentru lucrul mecanic în SI a fost numită *joule*, cu simbolul J, după numele fizicianului englez J.P. Joule (1818—1889). Ea se definește pe baza relației $L = F \cdot \Delta d$

$$1\ \text{J} = [L]_{SI} = [F]_{SI}[\Delta d]_{SI} = 1\ \text{N} \cdot \text{m}.$$

Un joule reprezintă lucrul mecanic efectuat de o forță constantă de 1 N, *al cărei punct de aplicație se deplasează pe distanța de* 1 m, *pe direcția și în sensul forței.*

Exemplu numeric

Să se calculeze lucrul mecanic efectuat de un automobil „Dacia 1300" care circulă de la București spre Ploiești, între borna kilometrică 6 și borna kilometrică 64, dacă motorul lui dezvoltă o forță de tracțiune constantă de 2 400 N.

Reprezentăm traiectoria automobilului printr-o dreaptă (fig. 2.39) pe care notăm prin M_1 și M_2 poziția inițială și finală a automobilului și cu O borna kilometrică zero. Coordonatele acestor puncte, față de borna kilometrică 0, sînt $d_1 = 6$ km, respectiv $d_2 = 64$ km. Rezultă că deplasarea automobilului între M_1 și M_2 este $\Delta d = d_2 - d_1 = (64 - 6)$ km $= 58$ km $= 58\,000$ m. Pentru a putea calcula lucrul mecanic cerut, se poate aplica relația $L = F \cdot \Delta d$, deoarece forța $\vec{F}$ dezvoltată de motor este constantă și orientată pe direcția și în sensul mișcării:

$$L = F \cdot \Delta d = 2\,400\ \text{N} \cdot 58\,000\ \text{m} = 139 \cdot 200\,000\ \text{J} = 1{,}392 \cdot 10^8\ \text{J}.$$

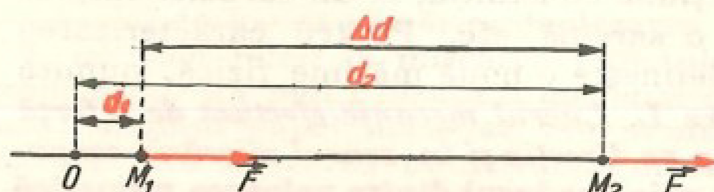


Fig. 2.39. Pentru exemplul numeric.

Puterea mecanică

Un troliu ridică un sac cu ciment, cu greutatea de 500 N, de pe sol la înălțimea de 10 m. Indiferent dacă el execută această operație în cîteva secunde sau în cîteva zeci de secunde, lucrul mecanic efectuat are aceeași valoare,

de 5 000 J. Acelaşi lucru mecanic poate fi efectuat mai repede sau mai încet. De aceea este necesar să putem exprima cantitativ nu numai lucrul mecanic total efectuat, ci şi viteza cu care a fost efectuat. În acest scop se defineşte o nouă mărime fizică, numită **putere mecanică,** notată cu simbolul P. *Puterea mecanică, P, este o mărime fizică egală cu cîtul dintre lucrul mecanic L efectuat de un sistem fizic şi intervalul de timp t în care s-a efectuat acest lucru mecanic:*

$$\boxed{P = L/t.}$$

Unitatea de măsură în SI pentru putere, numită watt, cu simbolul W, după numele lui J. Watt, se defineşte pe baza relaţiei $P = L/t$

$$1\ \mathrm{W} = [P]_{\mathrm{SI}} = \frac{[L]_{\mathrm{SI}}}{[t]_{\mathrm{SI}}} = 1\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}\,.$$

În practică se mai foloseşte o unitate tolerată, numită *cal putere*, cu simbolul CP. Un CP este egal cu 736 W. Deşi denumirea acestei mărimi sugerează că ea ar reprezenta puterea dezvoltată de un cal, în realitate ea este mai mare decît puterea constantă pe care o poate dezvolta un cal într-un interval de timp îndelungat (de ordinul orelor).

Motorul unui autoturism „Dacia 1300" poate dezvolta o putere de 54 CP, deci de cca 40 kW. Locomotiva unui tren dezvoltă o putere de 1 500—2 000kW.

Din relaţia $P = \frac{L}{t}$ se observă că lucrul mecanic poate fi exprimat prin produsul dintre putere şi timp:

$$L = P \cdot t.$$

De aceea, în practică, lucrul mecanic se exprimă uneori în unităţi de putere înmulţite cu unităţi de timp. Astfel, se foloseşte pentru lucrul mecanic unitatea numită kilowatt-oră, care se notează kWh. Un kWh reprezintă lucrul mecanic efectuat în timp de o oră de un sistem care dezvoltă o putere constantă de 1 kW. El poate fi transformat în jouli:

$$\mathbf{1\ kWh = 1\,000\ W \cdot 3\,600\ s = 3\,600\,000\ J.}$$

Exemplu numeric

Un automobil „Dacia 1300" care înaintează cu viteza constantă $v = 54$ km/h dezvoltă o forţă de tracţiune constantă $F = 1\,200$ N. Să se afle puterea automobilului şi să se exprime în CP.

Pentru calculul puterii aplicăm relaţia $P = \frac{L}{t}$, în care exprimăm lucrul mecanic prin produsul dintre forţa de tracţiune F şi deplasarea automobilului Δd, făcută în intervalul de timp t:

$$P = \frac{L}{t} = F \cdot \frac{\Delta d}{t}.$$

Raportul dintre deplasarea Δd și timpul t în care s-a deplasat automobilul reprezintă viteza v a acestuia, astfel încît putem scrie:

$$P = F \cdot v = 1\,200\ \mathrm{N} \cdot 54\ \mathrm{km/h} = 1\,200\ \mathrm{N} \cdot \frac{54\,000}{3\,600}\ \mathrm{m/s} = 18\,000\ \mathrm{W} = 18\ \mathrm{kW}.$$

Pentru a exprima puterea în CP, ținem seamă că 1 CP = 736 W = 0,736 kW, deci $1\ \mathrm{kW} = \frac{1}{0{,}736}$ CP. Așadar:

$$P = \frac{18}{0{,}736}\ \mathrm{CP} = 24{,}4\ \mathrm{CP}.$$

Se observă că, în condițiile date în enunț, motorul automobilului dezvoltă o putere mai mică decît puterea maximă pe care o poate dezvolta.

Mecanisme simple

Încă din epoca preistorică, omul a căutat să-și ușureze munca, folosind diferite unelte: cuțite, topoare etc. În decursul timpului s-au inventat și construit mecanisme și mașini din ce în ce mai complexe, mai perfecționate, ajungîndu-se la marea varietate a mașinilor folosite în zilele noastre în producția industrială, în agricultură, în transporturi, în gospodărie etc. În componența oricărei mașini, indiferent de complexitatea ei, intră așa-numitele *mașini simple*. Ele sînt dispozitive care servesc la transmiterea forțelor și a mișcărilor de la elementul conducător al mașinii la elementul condus. Unele dintre cele mai simple mecanisme sînt: pîrghiile, scripeții și planul înclinat.

A. **Pîrghia.** O rangă cu care un muncitor ridică un corp greu, un clește de spart nuci, o pensetă reprezintă pîrghii. *Pîrghia este o bară rigidă care se poate roti în jurul unui punct de sprijin și asupra căreia acționează două forțe:* forța care trebuie învinsă, numită *forță rezistentă* ($\vec{R}$), și forța cu ajutorul căreia este învinsă forța rezistentă, numită *forță activă* ($\vec{F}$).

Punctul de sprijin O, în jurul căruia se rotește pîrghia, poate fi așezat în trei feluri față de punctele de aplicație ale celor două forțe, A, al forței active $\vec{F}$ și B, al forței rezistente $\vec{R}$ (fig. 2.40):

a) Punctul de sprijin se află între punctele de aplicație ale celor două forțe, activă și rezistentă (fig. 2.40, *a*). Acest aranjament se întîlnește, de exemplu, la o rangă, pe al cărei capăt se apasă pentru a ridica un corp, așezat la celălalt capăt (fig. 2.41), la o foarfecă (fig. 2.42), la o balanță etc. Se observă că în acest caz cele două forțe au același sens.

b) Punctul de sprijin este situat la unul din capete, iar punctul de aplicație al forței active la celălalt capăt (fig. 2.40, *b*). Astfel de pîrghii sînt, de exemplu, roaba (fig. 2.43), cleștele de spart nuci (fig. 2.44), pedala de

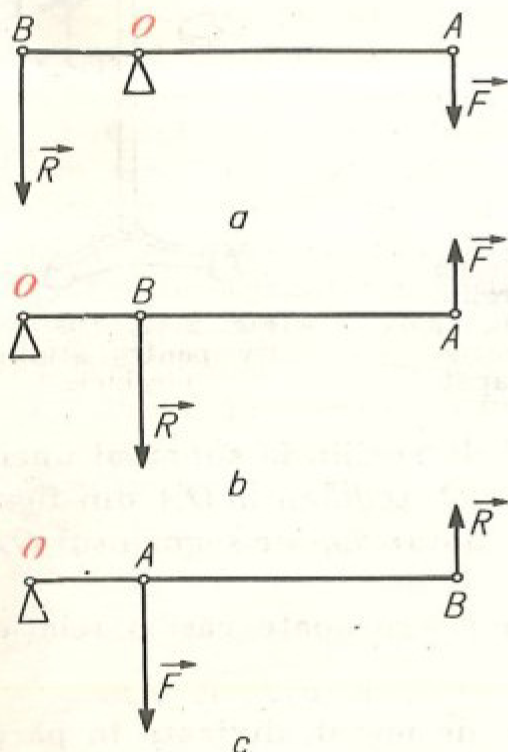


Fig. 2.40. Poziţia punctului de sprijin la o pîrghie: *a)* între punctul de aplicaţie al forţei active şi cel al forţei rezistente; *b)* la un capăt al pîrghiei, la celălalt capăt fiind punctul de aplicaţie al forţei active; *c)* la un capăt al pîrghiei, la celălalt capăt fiind punctul de aplicaţie al forţei rezistente.

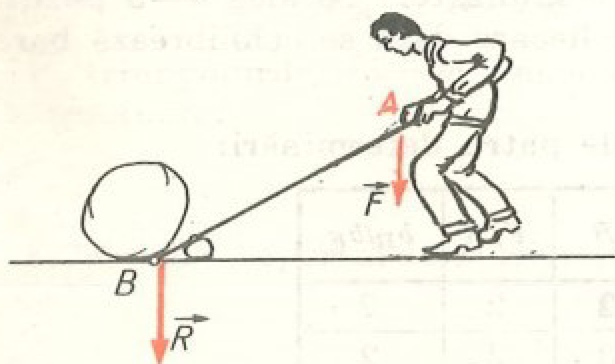


Fig. 2.41. Ranga este o pîrghie.

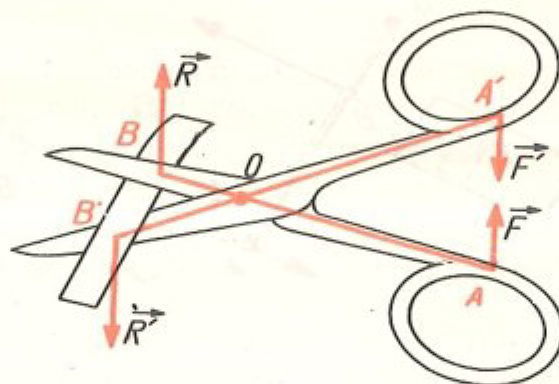


Fig. 2.42. Foarfeca este un ansamblu de două pîrghii; punctul de sprijin este aşezat între forţa activă şi forţa rezistentă.

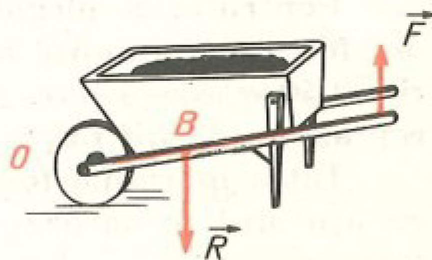


Fig. 2.43. Roaba este o pîrghie cu punctul de sprijin la un capăt şi forţa activă la celălalt.

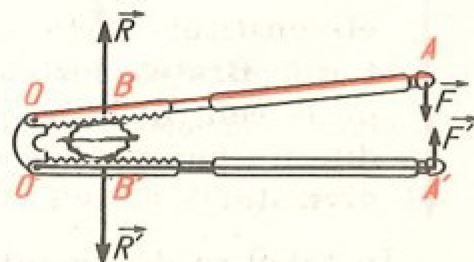


Fig. 2.44. Cleştele de spart nuci este un ansamblu de două pîrghii cu punctul de sprijin la un capăt şi forţa activă la celălalt.

frînă a unui automobil (în punctul O este fixă, la capătul A se acţionează iar în punctul B este articulată cu tija pistonului din cilindrul de frînă, fig. 2.45). Se observă că forţa activă este de sens opus celei rezistente.

c) Punctul de sprijin se găseşte la unul din capete, iar punctul de aplicaţie al forţei rezistente la celălalt capăt (fig. 2.40, *c)*. O astfel de pîrghie este de exemplu penseta (fig. 2.46). Forţa activă este, în acest caz, de sens opus forţei rezistente.

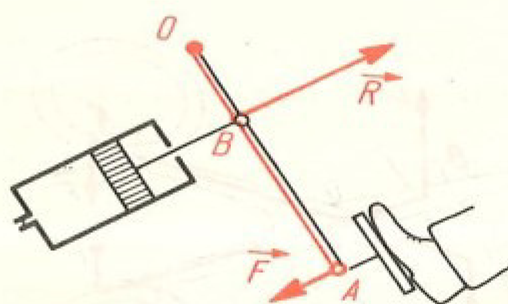


Fig. 2.45. Pedala de frînă a unui automobil este o pîrghie cu punctul de sprijin la un capăt şi forţa activă la celălalt.

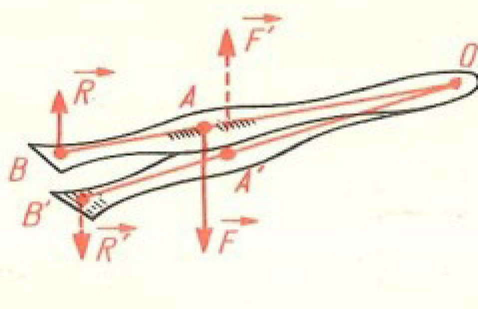


Fig. 2.46. Penseta este un ansamblu de două pîrghii, cu punctul de sprijin la un capăt şi forţa rezistentă la celălalt capăt.

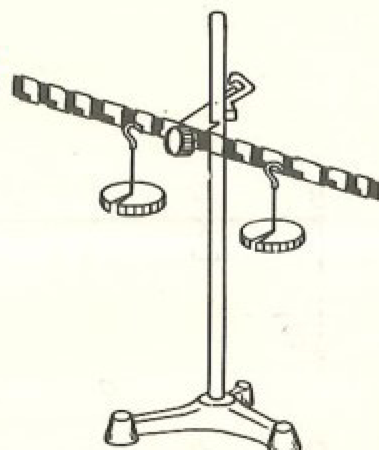


Fig. 2.47. Dispozitiv pentru studiul pîrghiei.

Pentru orice pîrghie, distanţa de la punctul de sprijin la suportul uneia din forţe este numită *braţul forţei* respective. Astfel, segmentul OA din figurile 2.40 *a*, *b* sau *c* reprezintă *braţul forţei active*, notat b_F, iar segmentul OB reprezintă *braţul forţei rezistente*, notat b_R.

Între mărimile forţelor şi mărimile braţelor lor se poate găsi o relaţie, cu ajutorul următorului experiment.

E *Experiment:* Se sprijină mijlocul unei bare de metal, divizată în părţi egale, pe un ax orizontal, fixat pe un suport (fig. 2.47). De o parte şi de alta a punctului de sprijin se agaţă două cîrlige pentru discuri crestate şi se aşază pe cîrlige discuri, pînă ce bara divizată rămîne în repaus, adică pînă la echilibru. La echilibru, bara divizată este în poziţie orizontală. Greutatea unuia dintre cîrlige şi a discurilor crestate de pe el constituie forţa activă, iar greutatea celuilalt constituie forţa rezistentă. Braţele forţelor se determină cu ajutorul numărului de diviziuni de la centrul barei pînă la cîrligul corespunzător. Se aleg 4—5 poziţii diferite pentru cele două cîrlige şi de fiecare dată se echilibrează bara divizată.

În tabel se dau rezultatele unei serii de patru determinări:

Nr. det.	b_F	b_R	F	R	F/R	b_R/b_F
1	2	4	4	2	2	2
2	2	4	6	3	2	2
3	1	3	9	3	3	3
4	4	4	5	5	1	1

Concluzie: la echilibru, raportul F/R este egal cu raportul b_R/b_F:

$$\frac{F}{R} = \frac{b_R}{b_F}.$$

Această relație a fost descoperită pe cale experimentală de învățatul grec al antichității Arhimede (287—212 î.e.n.). Relația poate fi enunțată astfel: **dacă o pîrghie este în echilibru, raportul forțelor este egal cu raportul invers al brațelor.**

Pe baza acestei relații constatăm că o forță rezistentă poate fi echilibrată de o forță activă mai mică, dacă brațul forței active este mai mare decît al celei rezistente. Se pot echilibra forțe rezistente cu forțe active mai mici, utilizînd pîrghii de tipul celor din figura 2.40 *a*, *b*, de exemplu: ranga, foarfeca, pedala de frînă. În timpul rotației acestor pîrghii în jurul punctului de sprijin, punctul de aplicație al forței active se deplasează mai mult decît punctul de aplicație al forței rezistente. Așadar, prin utilizarea acestor pîrghii se poate micșora forța, dar deplasarea punctului ei de aplicație crește.

Să comparăm lucrul mecanic efectuat de forța activă cu lucrul mecanic efectuat de forța rezistentă. Pentru a putea aplica formula $L = F \cdot \Delta d$ pentru calculul lucrului mecanic, vom considera că deplasările punctelor de aplicație, al forței active $\vec{F}$ din A în A' (fig. 2.48) și al forței rezistente $\vec{R}$ din B în B', sînt foarte mici, astfel încît arcele AA' și BB' pot fi confundate cu coardele AA' și BB', iar acestea pot fi considerate pe direcția forțelor $\vec{F}$, respectiv $\vec{R}$. Atunci, forța activă efectuează un lucru mecanic

$$L_F = F \cdot AA'$$

iar forța rezistentă efectuează un lucru mecanic

$$L_R = R \cdot BB'.$$

Pentru a compara L_F și L_R vom face raportul lor:

$$\frac{L_F}{L_R} = \frac{F \cdot AA'}{R \cdot BB'}.$$

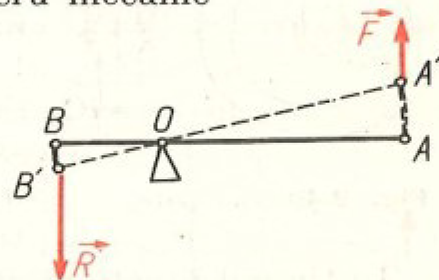


Fig. 2.48. Deplasarea punctelor de aplicație ale forțelor la o pîrghie.

În triunghiurile isoscele asemenea OAA' și OBB' putem scrie raportul de asemănare:

$$\frac{AA'}{BB'} = \frac{OA}{OB}$$

astfel încît raportul lucrurilor mecanice se poate scrie:

$$\frac{L_F}{L_R} = \frac{F}{R} \cdot \frac{OA}{OB}.$$

Dar OA poate fi considerat brațul forței active, b_F, iar OB brațul forței rezistente, b_R, astfel încît, pe baza relației $\frac{F}{R} = \frac{b_R}{b_F}$, se poate scrie:

$$\frac{F}{R} = \frac{OB}{OA}$$

sau, aplicînd proprietatea proporțiilor:

$$F \cdot OA = R \cdot OB.$$

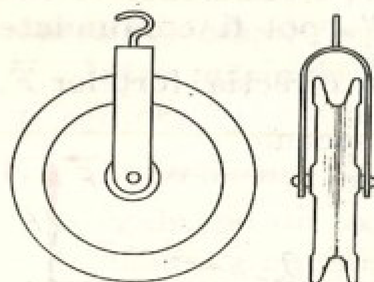
Rezultă că raportul lucrurilor mecanice:

$$\frac{L_R}{L_F} = 1.$$

Așadar, la pîrghie, *lucrul mecanic al forței active este egal cu lucrul mecanic al forței rezistente.* Dacă forța activă este mai mică decît cea rezistentă, se mărește deplasarea punctului ei de aplicație.

La pîrghiile de tipul celei din figura 2.40, c brațul forței active este mai mic decît al celei rezistente, deci forța activă este mai mare decît forța rezistentă. Cu o astfel de pîrghie, o forță rezistentă mai mică este echilibrată de o forță activă mai mare, dar forța activă își deplasează punctul de aplicație pe o distanță mai mică decît cea rezistentă. Lucrul mecanic al forței active este și în acest caz egal cu cel al forței rezistente.

Așadar, pîrghiile pot fi folosite pentru a micșora forța activă sau deplasarea ei, dar nu pot micșora lucrul mecanic efectuat de forța activă.


Fig. 2.49. Scripete.

Aproape toate tipurile de mașini conțin pîrghii.

B. **Scripetele.** Pîrghia are o mișcare de rotație limitată la un arc de cerc. Un mecanism simplu care înlătură acest dezavantaj, oferind posibilitatea unei mișcări de rotație continue, este *scripetele.* Un scripete este format dintr-o roată cu șanț pe muchie, mobilă în jurul axului ce trece prin centrul său. Axul este montat la o furcă, prevăzută cu un cîrlig (fig. 2.49). Prin șanțul scripetelui este trecut un cablu.

În timpul funcționării scripetele poate fi *fix* sau *mobil.* Pentru a-l folosi ca scripete fix, se suspendă furca de o grindă, la un capăt al cablului se leagă corpul de ridicat, iar de celălalt capăt al cablului se trage în jos (fig. 2.50). Diametrul orizontal al scripetelui fix (fig. 2.51) poate fi considerat o pîrghie cu punctul de sprijin în O și cu brațele OA și OB egale. Rezultă că, la echilibru, forța rezistentă $\vec{R}$ este egală cu forța activă $\vec{F}$:

$$\vec{R} = \vec{F}.$$

Se poate verifica experimental această concluzie.

E | *Experiment:* Se suspendă un scripete pe o bară orizontală (fig. 2.52). Se trece o sfoară peste scripete. De un capăt al sforii se leagă cîrligul pentru discuri cu un disc, iar de celălalt capăt se trage prin intermediul unui dinamometru. Trăgînd dinamometrul după diferite direcții, se observă că de fiecare dată el indică o forță egală cu greutatea cîrligului și a discului.

Concluzie: la un *scripete fix*, la echilibru, *forța activă este egală cu forța rezistentă, dar direcția și sensul de acțiune ale forței active pot fi schimbate, în mod convenabil.* Figura 2.53 prezintă un scripete fix utilizat la un excavator.

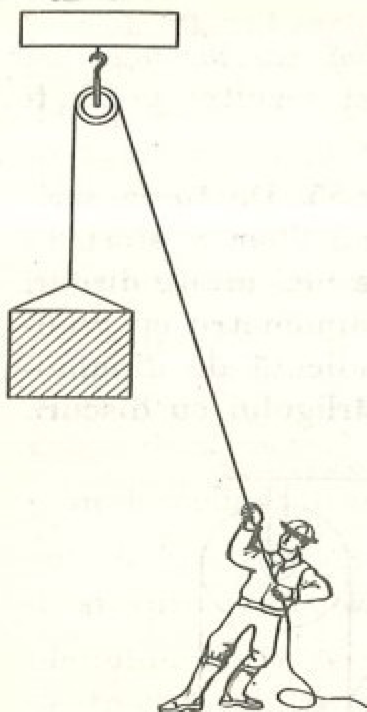


Fig. 2.50. Scripete fix.

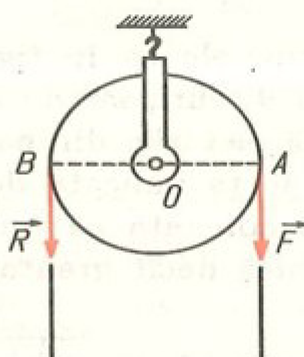


Fig. 2.51. Diametrul orizontal al scripetelui este asemănător unei pîrghii cu brațe egale.

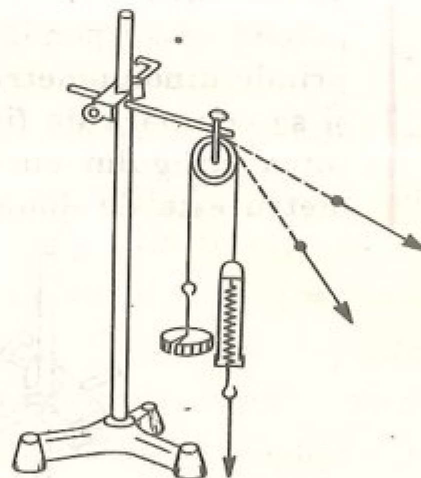


Fig. 2.52. Dispozitiv pentru studiul forțelor la scripetele fix.

Scripetele mobil are furca îndreptată în jos, de ea fiind legat corpul care trebuie ridicat; un capăt al cablului este fixat de o grindă, iar la celălalt capăt al cablului se aplică forța activă (fig. 2.54, *a*). Diametrul orizontal al

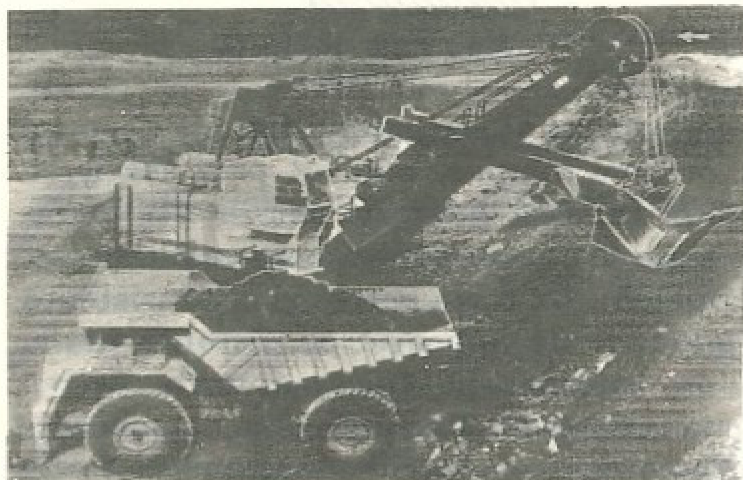


Fig. 2.53. Folosirea scripetelui fix la un excavator.

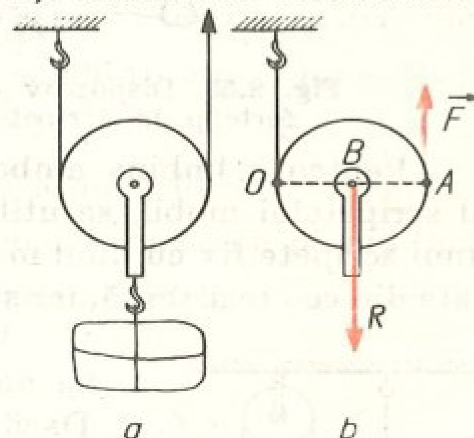


Fig. 2.54. Scripetele mobil: *a)* folosirea scripetelui mobil; *b)* diametrul orizontal al scripetelui mobil este asemănător unei pîrghii cu punctul de sprijin la un capăt.

scripetelui mobil poate fi considerat o pîrghie, cu punctul de sprijin la capătul O (fig. 2.54, *b*), cu brațul forței rezistente $OB = r$ (r fiind raza scripetelui), iar brațul forței active $OA = 2r$. La echilibru, conform relației $\frac{F}{R} = \frac{b_r}{b_F}$, se poate scrie

$$\frac{F}{R} = \frac{OB}{OA} = \frac{r}{2r} = \frac{1}{2}.$$

Rezultă $F = R/2$. Aşadar, *la un scripete mobil forţa activă este de două ori mai mică decît forţa rezistentă pe care o echilibrează.* Acest rezultat poate fi verificat experimental.

E *Experiment:* Se montează scripetele ca în figura 2.55. De furca scripetelui se suspendă cîrligul cu discuri, iar de capătul liber al sforii se prinde dinamometrul. Se aşază pe cîrlig din ce în ce mai multe discuri şi se compară de fiecare dată forţa indicată de dinamometru cu greutatea cîrligului cu discuri. Se constată că forţa indicată de dinamometru este de două ori mai mică decît greutatea cîrligului cu discuri.

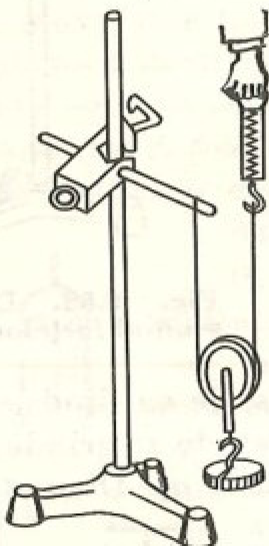


Fig. 2.55. Dispozitiv pentru studiul forţelor la scripetele mobil.

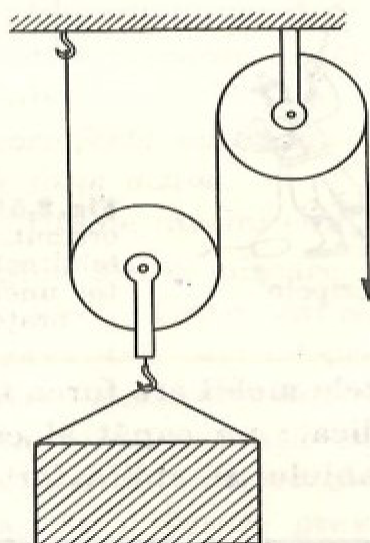


Fig. 2.56. Scripete compus.

Pentru a îmbina ambele avantaje, atît cel al scripetelui fix, cît şi pe cel al scripetelui mobil, se utilizează un *scripete compus*, realizat prin asocierea unui scripete fix cu unul mobil (fig. 2.56). În acest fel, forţa activă este jumătate din cea rezistentă, iar sensul ei de acţiune este îndreptat convenabil în jos.

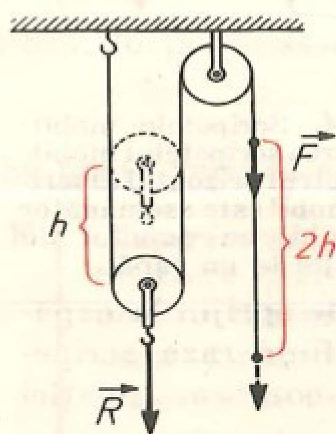


Fig. 2.57. Deplasarea forţei active la un scripete mobil este dublă faţă de deplasarea forţei rezistente.

În cazul scripetelui fix forţa activă şi cea rezistentă îşi deplasează punctele de aplicaţie pe distanţe egale. Dacă nu se ia în consideraţie frecarea, forţa activă este egală cu forţa rezistentă. Rezultă că lucrul mecanic al forţei active este egal cu lucrul mecanic al forţei rezistente. La scripetele mobil, deplasarea punctului de aplicaţie al forţei active este de două ori mai mare decît deplasarea corpului atîrnat de furcă (fig. 2.57), dar forţa activă este de două ori mai mică decît forţa rezistentă, dacă neglijăm frecările. Produsul dintre forţă şi deplasare este acelaşi, atît pentru forţa activă, cît şi pentru forţa rezistentă.

Aşadar, *prin utilizarea scripeţilor lucrul mecanic al forţei active nu poate fi mai mic decît lucrul mecanic al forţei rezistente.*

C. **Planul înclinat.** Orice plan care formează un unghi ascuțit cu planul orizontal reprezintă un *plan înclinat.* Ați observat, desigur, situații în care, cu ajutorul planului înclinat, corpurile pot fi ridicate cu un efort mai mic decît la ridicarea lor pe verticală. Pentru încărcarea unor corpuri grele în camioane, se folosesc scînduri, așezate cu un capăt pe sol și cu celălalt capăt pe platforma camionului. Drumurile în pantă, scările, benzile transportoare ale unor mașini sînt de asemenea plane înclinate.

Pentru a găsi relația dintre forța activă $\vec{F}$, necesară pentru echilibrarea unui corp, așezat pe planul înclinat, și greutatea $\vec{G}$ a corpului, vom reprezenta prin vectori forțele ce acționează asupra corpului aflat în echilibru pe planul înclinat (fig. 2.58, *a*): greutatea $\vec{G}$, orientată vertical în jos, forța activă $\vec{F}$, orientată în lungul planului înclinat și forța $\vec{N}$, cu care suprafața de sprijin acționează asupra corpului, ca reacțiune la apăsarea corpului asupra planului. Forța $\vec{N}$ este perpendiculară pe planul înclinat. Se va neglija forța de frecare dintre corp și planul înclinat. La echilibru, forțele menționate dau o rezultantă nulă:

$$\vec{G} + \vec{F} + \vec{N} = 0.$$

Greutatea $\vec{G}$ poate fi înlocuită prin două forțe: $\vec{F}_1$, egală ca mărime și de sens opus forței $\vec{F}$, și $\vec{F}_2$, egală ca mărime și de sens opus forței $\vec{N}$, astfel încît $\vec{F}_1 = -\vec{F}$ și $\vec{F}_2 = -\vec{N}$. În acest caz corpul este în echilibru sub acțiunea forțelor $\vec{F}_1$, $\vec{F}$ și $\vec{F}_2$, $\vec{N}$, două cîte două egale și de sensuri opuse (fig. 2.58, *b*). Cu alte cuvinte $\vec{G}$ poate fi considerată rezultanta a două forțe: $\vec{F}_1$, paralelă cu planul înclinat și opusă forței active, și $\vec{F}_2$, perpendiculară pe planul înclinat și de sens opus forței $\vec{N}$, de reacțiune a planului. Cele două forțe $\vec{F}_1$

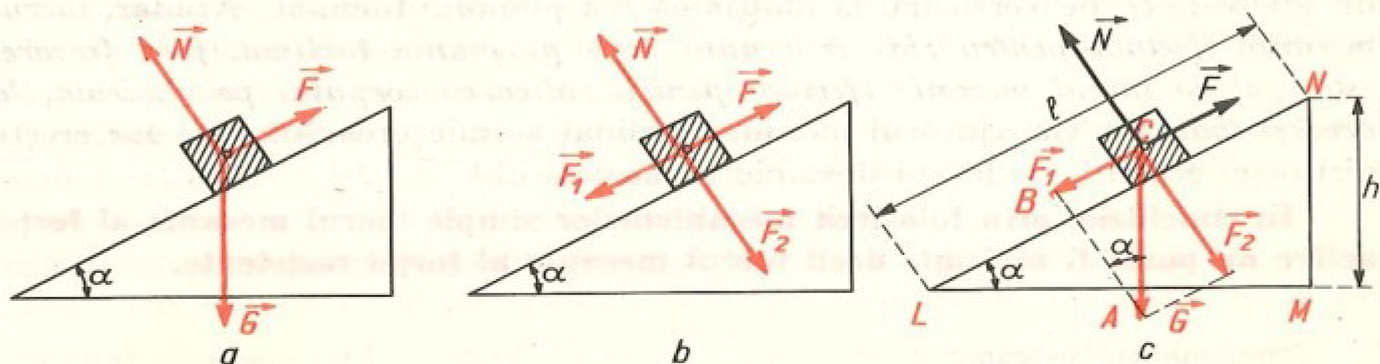


Fig. 2.58. Planul înclinat: *a)* Forțele ce acționează asupra corpului în echilibru pe planul înclinat, în absența frecării. *b)* Greutatea poate fi înlocuită prin forțele $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$. *c)* Forțele $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ pot fi găsite cu ajutorul regulii paralelogramului.

și $\vec{F}_2$ pot fi găsite cu ajutorul paralelogramului care are ca diagonală vectorul $\vec{G}$ (fig. 2.58, *c*). Pentru a construi acest paralelogram, se duc din vîrful lui $\vec{G}$ o paralelă la planul înclinat și o perpendiculară pe planul înclinat. Mărimea forței $\vec{F}_1$, care trebuie echilibrată de forța activă $\vec{F}$, poate fi găsită din relația de proporționalitate dintre laturile omoloage ale triunghiurilor asemenea LMN și ABC:

$$\frac{BC}{MN} = \frac{AC}{LN}.$$

În această relație $BC = F_1$, $AC = G$, $MN = h$ (înălțimea planului înclinat), $LN = l$ (lungimea planului înclinat). Cu aceste notații se poate scrie:

$$\frac{F_1}{h} = \frac{G}{l}$$

de unde rezultă, ținînd seamă că $F = F_1$:

$$F = G \cdot \frac{h}{l}.$$

Relația demonstrată arată că, neglijînd frecările, *forța activă necesară echilibrării unui corp pe planul înclinat este de atîtea ori mai mică decît greutatea corpului, de cîte ori lungimea planului este mai mare decît înălțimea lui.*

Așadar, pentru ridicarea unui corp pe planul înclinat este necesară o forță mai mică decît pentru ridicarea lui pe verticală. Pentru a compara lucrul mecanic efectuat pentru ridicarea unui corp pe planul înclinat și pe verticală, scriem relația precedentă sub forma:

$$F \cdot l = G \cdot h.$$

Se observă că produsul $F \cdot l$ reprezintă lucrul mecanic al forței active F, care ar ridica un corp pe planul înclinat de lungime l, în absența frecării, iar produsul Gh reprezintă lucrul mecanic efectuat pentru ridicarea corpului, de greutate G, pe verticală, la înălțimea h a planului înclinat. Așadar, *lucrul mecanic efectuat pentru ridicarea unui corp pe planul înclinat, fără frecare, este egal cu lucrul mecanic efectuat pentru ridicarea corpului pe verticală, la aceeași înălțime.* Cu ajutorul planului înclinat se micșorează forța, dar crește distanța, astfel încît lucrul mecanic nu se schimbă.

În concluzie, **prin folosirea mecanismelor simple lucrul mecanic al forței active nu poate fi mai mic decît lucrul mecanic al forței rezistente.**

Randamentul mecanic

E *Experiment:* Sprijiniți o tăblie metalică plană cu un capăt pe o bară (fig. 2.59) și cu celălalt capăt pe masă, pentru a alcătui un plan înclinat. Fixați un scripete la capătul de sus al tăbliei și așezați pe ea un corp

paralelipipedic. De cîrligul corpului legați un capăt al unei sfori, iar celălalt capăt al sforii îl treceți peste scripete și legați la capătul lui un cîrlig pentru discuri. Așezați discuri pe cîrlig, pînă ce corpul paralelipipedic urcă uniform pe planul înclinat. Greutatea cîrligului cu discuri reprezintă forța activă F. Măsurați cu dinamometrul greutatea G a corpului. Măsurați lungimea l și înălțimea h a planului înclinat. Repetați determinările pentru 4—5 înclinări diferite ale planului înclinat.

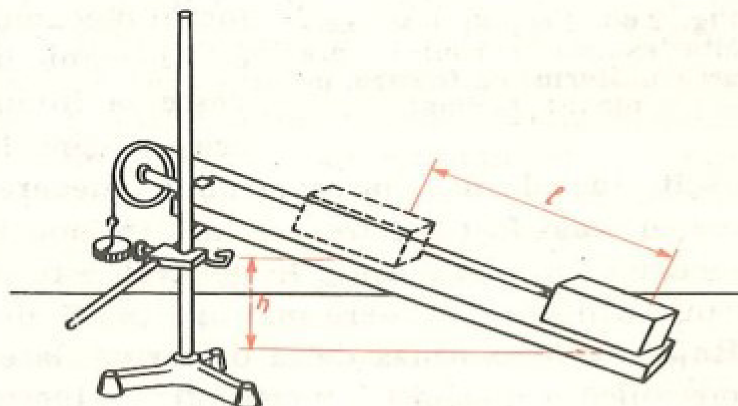


Fig. 2.59. Dispozitiv pentru studiul planului înclinat.

Treceți rezultatele într-un tabel:

α	F	G	h	l	$F \cdot l$	$G \cdot h$

Concluzie: valorile produselor $F \cdot l$ și $G \cdot h$ pentru fiecare înclinare α a planului înclinat, deși apropiate între ele, sînt puțin diferite și anume produsul $F \cdot l$ este mai mare decît produsul $G \cdot h$ corespunzător.

Cum se explică această diferență față de rezultatul calculelor, exprimat prin relația $Fl = Gh$? Să ne amintim că această relație a fost demonstrată considerînd că nu există frecare, astfel încît forța activă necesară pentru echilibrarea corpului pe planul înclinat este egală cu componenta F_1 a greutății corpului. În realitate, pentru ridicarea uniformă a corpului pe planul înclinat este necesară o forță activă, $\vec{F}$, mai mare în mărime decît $\vec{F}_1$, deoarece trebuie echilibrată și forța de frecare $\vec{F}_f$ dintre corp și planul înclinat, forță care, opunîndu-se mișcării, este îndreptată în același sens cu $\vec{F}_1$ (fig. 2.60):

$$F = F_1 + F_f.$$

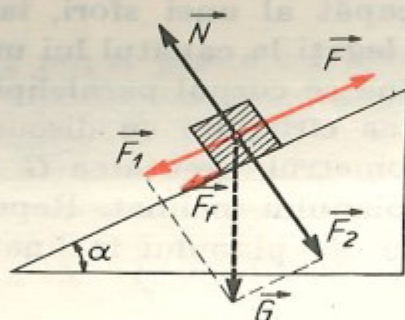


Fig. 2.60. Forțele ce se exercită asupra corpului care urcă uniform, cu frecare, pe planul înclinat.

Lucrul mecanic realizat în conformitate cu scopul mecanismului este numit *lucru mecanic util* L_u, iar lucrul mecanic efectuat de forța activă este numit *lucru mecanic consumat* L_c.

În cazul planului înclinat, lucrul mecanic util (necesar pentru ridicarea corpului de greutate G la înălțimea h) este $L_u = G \cdot h$, iar lucrul mecanic consumat (efectuat de către forța de tracțiune F pe distanța l) este $L_c = F \cdot l$. Datorită frecării lucrul mecanic consumat este mai mare decît lucrul mecanic util (o parte din lucrul consumat servește la învingerea frecărilor). Întotdeauna, la orice mașină lucrul mecanic util este mai mic decît lucrul mecanic consumat, deoarece în timpul funcționării oricărei mașini apar forțe de frecare care trebuie învinse de forța activă. Calitatea mecanică a unei mașini, în general, este cu atît mai bună cu cît lucrul mecanic util are o valoare mai apropiată de cea a lucrului mecanic consumat. Raportul lor variază de la o mașină la alta și poate caracteriza calitatea mecanică a mașinii. **Raportul dintre lucrul mecanic util și lucrul mecanic consumat se numește randament mecanic.** Randamentul se notează cu litera grecească η (eta) și se definește prin formula:

$$\eta = \frac{L_u}{L_c}.$$

Fiind raportul aceluiași fel de mărimi, randamentul se exprimă printr-un număr, fără unități de măsură. Deoarece L_u este întotdeauna mai mic decît L_c, *randamentul unei mașini este întotdeauna subunitar* ($\eta < 1$). Randamentul se exprimă printr-un număr zecimal sau în procente. De exemplu, în cazul planului înclinat din experimentul descris anterior, la o măsurătoare s-a obținut randamentul $\eta = 0{,}75 = 75\%$. Dintre mecanismele simple, scripetele are cel mai ridicat randament, de cca 0,95 sau 95%. În general, randamentul mașinilor mecanice este mult mai scăzut. În cazul unei mașini ideale, irealizabile practic, în care nu s-ar exercita deloc frecări, randamentul ar fi 1 sau 100%. (De asemenea, în cazul problemelor în care se neglijează frecarea, se consideră $\eta = 1$).

Energia mecanică — mărime de stare

Un corp în mișcare poate efectua lucru mecanic. Astfel, un ciocan care bate un cui efectuează lucru mecanic. Viteza ciocanului scade, deci prin efectuarea de lucru mecanic ciocanul își modifică starea lui mecanică. Se poate stabili o legătură între viteza corpului care efectuează lucru mecanic și mărimea lucrului mecanic efectuat, printr-un experiment.

E *Experiment:* Pe o masă orizontală foarte lucioasă se așază un cărucior (fig. 2.61). La două capete ale căruciorului se leagă două sfori, trecute fiecare peste cîte un scripete fixat de masă. La capătul uneia din sfori se suspendă un cîrlig cu discuri crestate C, care se sprijină pe un suport opritor S, fixat la masă. Cealaltă sfoară se trece prin orificiul unui dop de cauciuc D, sprijinit pe un inel opritor O, fixat la masă. La capătul acestei sfori se leagă un nasture cu diametrul mai mare decît orificiul dopului D. Cîrligul cu discuri crestate C este ridicat la o înălțime h față de suportul S și apoi este lăsat liber. În cădere, el antrenează căruciorul. După încetarea acțiunii corpului C, prin oprirea sa pe suportul S, căruciorul mai parcurge o distanță. Cînd nasturele de la capătul sforii ajunge sub dopul D, îl ridică de pe inelul opritor. Corpul D va fi ridicat la o anumită înălțime datorită acțiunii căruciorului. În felul acesta căruciorul efectuează lucru mecanic pentru ridicarea corpului D. Se observă că în timpul ridicării corpului D viteza căruciorului scade. Ridicînd corpul C la înălțimi h din ce în ce mai mari, viteza căruciorului în momentul opririi corpului C pe suport este din ce în ce mai mare. Se observă că, pe măsură ce viteza căruciorului este mai mare, distanța pe care este ridicat dopul D este mai mare, deci lucrul mecanic efectuat de cărucior pentru ridicarea dopului este mai mare.

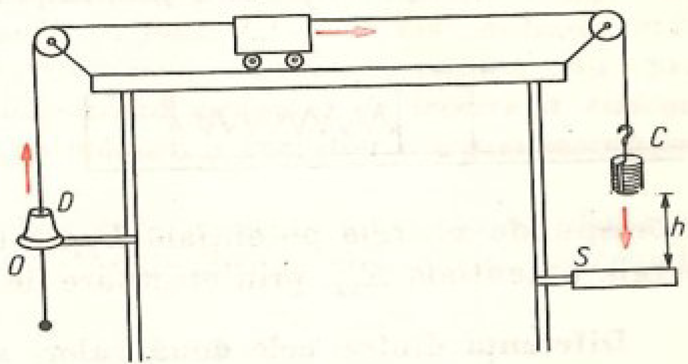


Fig. 2.61. Dispozitiv pentru studiul lucrului mecanic efectuat de un corp în mișcare.

Concluzie: un corp în mișcare poate efectua un lucru mecanic cu atît mai mare, cu cît are viteza mai mare. Prin efectuarea de lucru mecanic, un corp în mișcare își modifică viteza, deci își modifică starea mecanică.

Pentru a exprima cantitativ proprietatea unui corp în mișcare de a efectua lucru mecanic, se introduce o nouă mărime fizică, numită **energie cinetică**, notată cu simbolul E_c. Cuvîntul „energie" provine de la cuvîntul grecesc „energheia", care înseamnă „activitate", iar cuvîntul „cinetic" provine de la cuvîntul grecesc „kineticos", care înseamnă „mișcător".

Fiecărei stări mecanice a unui corp în mișcare îi corespunde o energie cinetică. Un corp în mișcare cu o anumită viteză are o energie cinetică egală cu lucrul mecanic efectuat de acel corp în procesul de trecere de la viteza corespunzătoare acelei stări pînă la oprire.

Energia cinetică a unui corp crește pe măsură ce crește viteza sa. Un corp în repaus nu are energie cinetică.

Greutatea corpului C din figura 2.61 efectuează un lucru mecanic, după ce corpul a fost lăsat liber de la o înălțime h față de suportul S, deoarece își deplasează punctul ei de aplicație pe distanța h. Greutatea unui mai (unealtă folosită la baterea pavelelor pentru construirea drumurilor), lăsat liber de la o înălțime deasupra Pămîntului, va putea efectua în cădere un lucru mecanic cu atît mai mare, cu cît maiul a fost ridicat inițial mai sus. Pentru efectuarea acestui lucru mecanic poziția maiului față de Pămînt se schimbă, deci s-a modificat starea mecanică a sistemului mai-Pămînt.

Un resort comprimat, prin destindere, împinge un corp aflat la unul din capete, celălalt capăt fiind fix (fig. 2.26). Forța elastică își va deplasa punctul de aplicație, deci va efectua un lucru mecanic. Acesta va fi cu atît mai mare, cu cît resortul a fost comprimat mai mult. La efectuarea lucrului mecanic poziția spirelor resortului se modifică, deci se schimbă starea lui mecanică.

Pentru a exprima cantitativ proprietatea unui sistem fizic de a efectua lucru mecanic prin schimbarea poziției părților sale componente, între care se exercită interacțiuni, se introduce o altă formă de energie, numită **energie potențială,** cu simbolul E_p. Fiecărei stări mecanice a unui sistem fizic, caracterizată printr-o anumită poziție a părților lui componente, îi corespunde o anumită energie potențială. Sistemul poate trece dintr-o stare inițială, căreia



Fig. 2.62. După ce a fost comprimat, resortul împinge un corp, prin destindere.

îi corespunde energia potențială E_{p1}, într-o stare finală, căreia îi corespunde energia potențială E_{p2}, prin efectuare de lucru mecanic.

Diferența dintre cele două valori ale energiei potențiale a unui sistem este egală cu lucrul mecanic efectuat de sistem la trecerea din starea inițială în starea finală:

$$E_{p1} - E_{p2} = L.$$

Pe baza acestei relații se poate calcula modificarea energiei potențiale a unui sistem.

În cazul sistemului alcătuit dintr-un corp de masă m și Pămînt, cînd corpul se află la o înălțime h față de suprafața Pămîntului (fig. 2.63), sistemul, în starea inițială *1*, are energia potențială E_{p1}, iar după ce corpul a căzut pe suprafața Pămîntului, sistemul, în starea finală *2*, are energia potențială E_{p2}. Diferența $E_{p1} - E_{p2}$ este egală cu lucrul mecanic efectuat de forța de greutate $G = m \cdot g$ care și-a deplasat punctul de aplicație pe distanța h:

$$E_{p1} - E_{p2} = L = G \cdot h = m \cdot g \cdot h.$$

Dacă se alege convențional ca stare de referință, cu energie potențială nulă, starea *2*, cînd corpul este pe sol, $E_{p2} = 0$ se poate obține energia potențială E_p a unui corp (într-o stare oarecare 1) aflat la o înălțime h față de suprafața Pămîntului:

$$E_p = mgh.$$

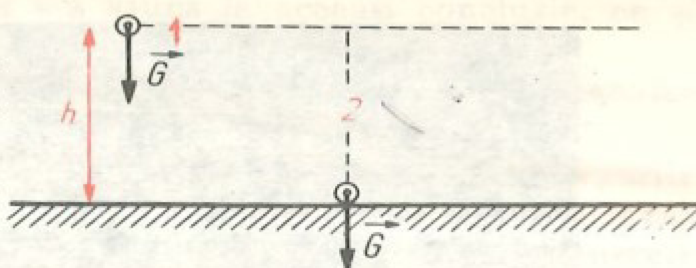


Fig. 2.63. Sistemul corp-Pămînt în două stări diferite.

Rezultă că *energia potențială a sistemului corp-Pămînt este cu atît mai mare, cu cît înălțimea la care se află corpul față de suprafața Pămîntului este mai mare.*

Analizînd orice sistem fizic care poate efectua lucru mecanic, putem trage următoarele concluzii:

— **starea mecanică** *a unui sistem fizic se poate schimba prin schimbarea vitezei sau prin schimbarea poziției părților componente ale sistemului;*

— *la trecerea unui sistem fizic dintr-o stare mecanică în alta se efectuează lucru mecanic;*

— *un sistem poate efectua un lucru mecanic mai mare sau mai mic, în funcție de stările lui mecanice, inițială și finală.*

Energia mecanică este o mărime fizică, prin care se caracterizează starea mecanică a unui sistem fizic. Energia mecanică E a unui sistem fizic este egală cu suma energiei cinetice E_c și a energiei potențiale E_p a sistemului: $E = E_c + E_p$. Energia se exprimă, ca și lucrul mecanic, în jouli (J). Un sistem fizic, într-o anumită stare mecanică, este caracterizat prin *energie* mecanică (nu prin lucru mecanic). *Lucrul mecanic caracterizează procesul de trecere a sistemului dintr-o stare mecanică în alta și este o măsură a variației energiei mecanice a sistemului.*

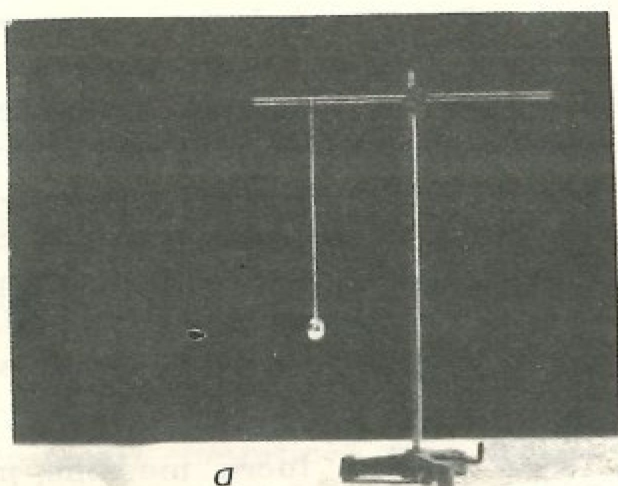
În unele stări sistemul poate avea numai energie cinetică, în alte stări numai energie potențială, iar în altele ambele forme, cinetică și potențială.

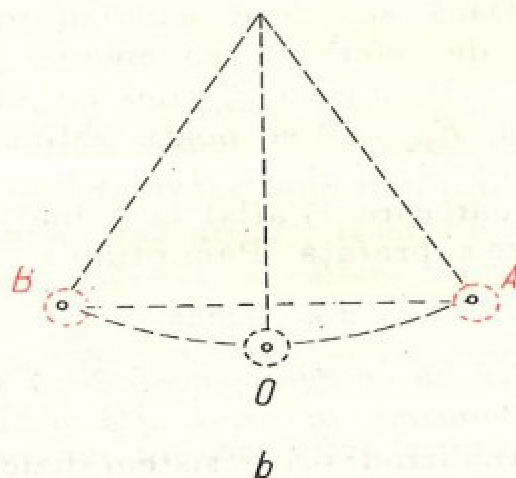
Conservarea energiei mecanice

Să analizăm din punct de vedere al energiei stările unui corp, mic și greu, suspendat de un fir.

E | *Experiment:* Realizați un pendul gravitațional, suspendînd o sferă metalică la capătul unui fir legat de o tijă fixată pe un suport (fig. 2.64, *a*). Deplasați sfera din poziția verticală a firului (poziția de echilibru) cu 3—4 cm și o lăsați liberă. Veți observa că sfera se deplasează de o parte și de alta a poziției de echilibru, efectuînd oscilații. Pe un carton așezat vertical în spatele pendulului, înregistrați, fără să atingeți pendulul, poziția de echilibru O (fig. 2.64, *b*), poziția inițială A a pendulului și poziția B, la care se ridică pendulul de cealaltă parte a poziției de echilibru.

Veți constata că cele două puncte A și B sînt la aceeași înălțime față de Pămînt. Rezultă că în poziția B pendulul are aceeași energie potențială ca și în poziția A. În aceste poziții, pendulul, fiind în repaus, nu are și energie





a b

Fig. 2.64. Pendulul gravitaţional: *a)* dispozitiv experimental; *b)* punctul *B*, la care se ridică pendulul, este la aceeaşi înălţime ca şi punctul *A*, din care a fost lăsat liber.

cinetică, deci *energia lui mecanică în starea* A *este egală cu energia lui mecanică în starea* B (numai energie potenţială).

În timpul mişcării pendulului din poziţia iniţială *A* (unde $v = 0$) spre poziţia de echilibru *O* (unde v este maximă) înălţimea lui faţă de Pămînt scade, deci energia lui potenţială scade. În acelaşi timp, viteza pendulului creşte, deci energia lui cinetică creşte.

Pe măsură ce pendulul se îndepărtează de poziţia de echilibru, de la *O* spre *B* (unde $v = 0$), înălţimea lui faţă de Pămînt creşte, deci creşte energia potenţială. În acelaşi timp, o dată cu scăderea vitezei lui, scade şi energia cinetică.

Aşadar, orice creştere a energiei cinetice a pendulului gravitaţional este însoţită de o scădere a energiei potenţiale, iar orice scădere a energiei sale cinetice este însoţită de o creştere a energiei potenţiale. Se poate spune că în timpul mişcării pendulului gravitaţional, *energia cinetică şi potenţială se transformă reciproc, dintr-o formă în alta.*

Transformarea reciprocă a energiei cinetice şi potenţiale se întîlneşte şi la alte sisteme. Energia potenţială a apei din lacul de acumulare al unui baraj se transformă în timpul căderii în energie cinetică, ce poate fi utilizată pentru punerea în funcţiune a turbinei unei hidrocentrale. Energia cinetică a unui corp care loveşte capătul unui resort elastic, fixat la celălalt capăt, se transformă în energie potenţială în timpul comprimării resortului (fig. 2.65, *a*). Cînd resortul începe să se destindă, energia potenţială se transformă în energie cinetică şi corpul capătă viteză din ce în ce mai mare (fig. 2.65, *b*).

Dacă n-ar exista frecarea, datorită căreia mişcarea pendulului gravitaţional este frînată, pendulul s-ar ridica de fiecare dată la aceeaşi distanţă maximă, de o parte şi de alta a poziţiei de echilibru, în punctele *A* şi *B* (fig. 2.64, *b*). Astfel energia mecanică a pendulului, egală cu energia lui potenţială maximă, ar rămîne constantă în timpul mişcării. Prin studierea energiei mecanice a oricărui sistem care nu interacţionează cu corpurile din jur şi în

care forțele de frecare sînt neglijabile s-a ajuns la aceeași concluzie, ca și în cazul analizat mai sus, al pendulului gravitațional.

Această concluzie poartă numele de **legea conservării energiei mecanice** și se poate enunța astfel:

Energia mecanică a unui sistem fizic care nu interacționează cu corpurile din jur și în care frecările sînt neglijabile rămîne constantă (se conservă) în cursul transformării ei din energie cinetică în potențială și din energie potențială în cinetică.

Cînd forțele de frecare sînt mari și nu se pot neglija, se constată că energia mecanică a sistemului scade treptat și diferitele părți ale sistemului se încălzesc. Acest aspect al transformării energiei se va studia în capitolul 4.

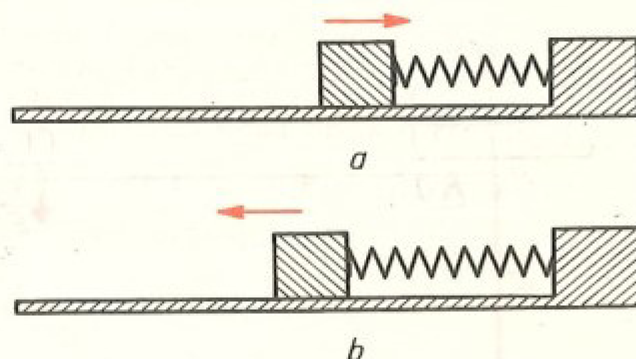


Fig. 2.65. Sistem fizic alcătuit dintr-un corp care ciocnește un resort: *a)* în timpul comprimării resortului energia cinetică se transformă în energie potențială; *b)* prin destinderea resortului energia potențială se transformă în energie cinetică.

Rezumat

Lucrul mecanic efectuat de o forță constantă, ce acționează asupra unui corp, pe direcția și în sensul mișcării corpului, este o mărime fizică scalară, definită prin produsul dintre valoarea numerică a forței și deplasarea corpului. Pentru ca o forță să poată efectua lucru mecanic ea trebuie să-și deplaseze punctul de aplicație. *Puterea mecanică* este cîtul dintre lucrul mecanic efectuat de sistem și intervalul de timp în care s-a efectuat acest lucru mecanic. Ea exprimă cantitativ viteza cu care un sistem efectuează lucru mecanic. Unitatea de măsură pentru lucru mecanic este joule (J), iar pentru putere watt (W).

Pîrghia, scripetele, planul înclinat se numesc *mecanisme simple*. Prin folosirea mecanismelor simple se poate obține o micșorare a forței active sau a deplasării, dar lucrul mecanic al forței active nu poate fi mai mic decît lucrul mecanic al forței rezistente. La orice mașină, datorită frecărilor, *randamentul este totdeauna subunitar*.

Starea mecanică a unui sistem fizic se poate schimba prin schimbarea vitezei sau prin schimbarea poziției părților sale componente. La trecerea unui sistem fizic dintr-o stare mecanică în alta se efectuează lucru mecanic. Fiecărei stări mecanice a unui corp în mișcare cu o anumită viteză îi corespunde o anumită energie cinetică. Fiecărei stări mecanice a unui sistem fizic, caracterizată printr-o anumită poziție relativă a părților lui componente îi corespunde o anumită energie potențială. *Energia mecanică* este o mărime fizică prin care se caracterizează starea mecanică a unui sistem fizic. Ea se compune din *energie cinetică* și *energie potențială*. Energia mecanică a unui sistem fizic izolat și fără frecări rămîne constantă în cursul transformării energiei cinetice în potențială și a energiei potențiale în cinetică.

1. Pentru cîntărirea unor corpuri grele se folosește balanța zecimală. Ea poartă acest nume deoarece necesită pentru echilibrare un etalon de masă de 10 ori mai mic decît masa corpului care trebuie cîntărit. În ce raport este împărțită tija acestei balanțe de punctul ei de sprijin?

Rezolvare. Tija balanței zecimale constituie o pîrghie, cu punctul de sprijin O între punctele de aplicație ale celor două forțe: greutatea corpului de cîntărit, $\vec{R}$, și greutatea etalonului de masă, $\vec{F}$ (fig. 2.66). Deoarece greutatea unui corp este direct proporțională cu masa lui, raportul M/m dintre masa M a corpului de cîntărit și masa m a etalonului este egală cu raportul greutăților lor:

$$\frac{M}{m} = \frac{R}{F} = 10.$$

Pentru a găsi raportul segmentelor OB/OA în care punctul de sprijin împarte tija balanței, aplicăm legea pîrghiei:

$$\frac{F}{R} = \frac{OB}{OA} = \frac{1}{10}.$$

Fig. 2.66. Pentru problema rezolvată 1.

2. Ce putere mecanică trebuie dezvoltată pentru ridicarea unui corp de greutate $G = 360$ N la înălțimea $h = 10$ m într-un timp $t = 20$ s, folosind un scripete mobil cu randamentul 90%?

Rezolvare. Puterea mecanică dezvoltată, P, se exprimă în funcție de lucrul mecanic consumat, L_c, și de timp prin relația:

$$P = \frac{L_c}{t}.$$

Lucrul mecanic consumat se poate exprima în funcție de lucrul mecanic util, L_u, cu ajutorul randamentului:

$$\eta = \frac{L_u}{L_c} \text{ de unde } L_c = \frac{L_u}{\eta}$$

Dar L_u reprezintă lucrul mecanic efectuat pentru ridicarea corpului de greutate G, pe verticală, la înălțimea h:

$$L_u = G \cdot h.$$

Se poate exprima deci $L_c = \frac{Gh}{\eta}$ şi. revenind la expresia puterii,

$$P = \frac{Gh}{\eta t} = \frac{360\ \text{N} \cdot 10\ \text{m}}{0{,}90 \cdot 20\ \text{s}} = 200\ \text{W}.$$

3. Pe un plan înclinat cu lungimea $l = 2$ m şi înălţimea $h = 1$ m este urcat cu viteză constantă un corp cu greutatea $G = 100$ N, trăgîndu-l cu o forţă $F = 60$ N, paralelă cu planul înclinat. Ce valoare are forţa de frecare F_f exercitată între corp şi planul înclinat? Ce variaţie are energia potenţială a sistemului corp-Pămînt prin ridicarea corpului în vîrful planului înclinat?

Rezolvare. Viteza corpului este constantă, deci rezultanta forţelor care acţionează asupra lui trebuie să fie nulă. Reprezentăm aceste forţe: 1) greutatea $\vec{G}$, pe care o înlocuim prin cele două componente $\vec{F}_1$ şi $\vec{F}_2$, construite cu ajutorul regulii paralelogramului (fig. 2.67); 2) forţa de reacţiune $\vec{N}$ a planului, egală ca mărime şi de sens opus forţei $\vec{F}_2$; 3) forţa de frecare $\vec{F}_f$, îndreptată spre baza planului; 4) forţa $\vec{F}$, care trebuie să echilibreze forţele $\vec{F}_1$ şi $\vec{F}_f$, care are deci mărimea: $F = F_1 + F_f$.

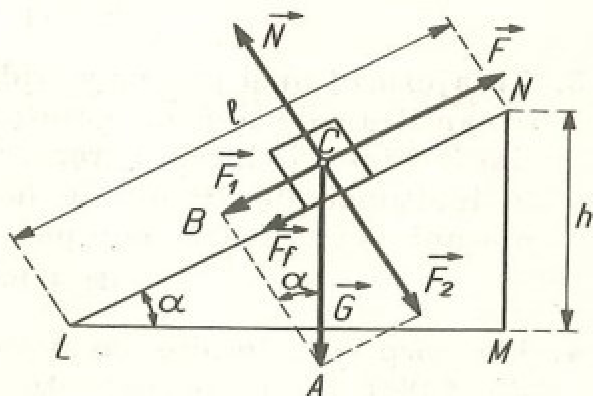


Fig. 2.67. Pentru problema rezolvată 3.

Rezultă că forţa de frecare poate fi găsită din relaţia $F_f = F - F_1$, dacă reuşim să aflăm forţa F_1. În acest scop, putem folosi raportul de asemănare dintre laturile omoloage ale triunghiurilor dreptunghice asemenea ABC şi LMN:

$$\frac{BC}{MN} = \frac{AC}{LN}$$

sau, folosind notaţiile de pe figură:

$$\frac{F_1}{h} = \frac{G}{l}, \text{ de unde rezultă: } F_1 = \frac{Gh}{l}.$$

Aşadar, forţa de frecare are expresia:

$$F_f = F - F_1 = F - \frac{Gh}{l} = 60\ \text{N} - \frac{100\ \text{N} \cdot 1\ \text{m}}{2\ \text{m}} = 10\ \text{N}.$$

Variaţia energiei potenţiale a corpului prin ridicarea lui pe planul înclinat la înălţimea h este:

$$E_p = mgh.$$

1. Un om taie lemne cu un fierăstrău. La fiecare cursă el împinge fierăstrăul cu o forţă de 80 N şi îl deplasează cu 0,40 m. Ce lucru mecanic efectuează la fiecare împingere?

R: 32 J.

2. Un tramvai are forţa de tracţiune de $2 \cdot 10^4$ N. Între două staţii, aflate la distanţa de 300 m, conducătorul utilizează forţa de tracţiune numai pe prima treime a acestei distanţe, tramvaiul mergînd mai departe în virtutea inerţiei. Ce lucru mecanic efectuează electromotorul tramvaiului între două staţii?

R: $2 \cdot 10^6$ J.

3. Cu ajutorul unei pompe se ridică o cantitate de apă cu greutatea de 30 000 N într-un rezervor, la înălţimea de 10 m. Ce lucru mecanic efectuează pompa?

R: $3 \cdot 10^5$ J.

4. Un corp este împins cu o forţă de 1 000 N pe o distanţă de 500 m, întîi pe o suprafaţă lucioasă şi apoi pe o suprafaţă cu asperităţi. În ce caz lucrul mecanic este mai mare?

5. Asupra corpului din problema precedentă se exercită forţe de frecare diferite. Efectuează aceste forţe lucru mecanic? În caz afirmativ, care dintre aceste lucruri mecanice este mai mare?

6. Ce putere trebuie să dezvolte motorul unui ascensor cu greutatea totală de 10 000 N care urcă la etajul 10 în 30 s, distanţa dintre etaje fiind de 3 m?

R: 10^4 W.

7. Care este puterea mecanică a unui halterofil care ridică halterele cu greutatea de 1 200 N de la podea la înălţimea de 2,2 m în 5 s?

R: 528 W.

8. Care este puterea unei locomotive care dezvoltă o forţă de tracţiune de 75 000 N la viteza de 108 km/h?

R: $2{,}25 \cdot 10^6$ W.

9. Un tractor se deplasează sub acţiunea motorului său de 60 CP cu viteza de 3,6 km/h, apoi cu 5,4 km/h. Care sînt forţele de tracţiune dezvoltate? Ce dispozitiv din alcătuirea tractorului permite modificarea forţei de tracţiune la putere constantă, o dată cu modificarea vitezelor?

R: $4{,}416 \cdot 10^4$ N; $2{,}944 \cdot 10^4$ N.

10. Un cal trage o căruţă cu o forţă de tracţiune de 240 N între bornele kilometrice 7 şi 27 în 3 h şi 20 min. O motocicletă, al cărei motor dezvoltă o forţă de tracţiune de 120 N, parcurge aceeaşi distanţă în 20 min. Cine efectuează un lucru mecanic mai mare: calul sau motorul motocicletei? Cine are puterea mai mare?

R: Calul efectuează un lucru mecanic mai mare. Motorul motocicletei dezvoltă o putere mai mare.

11. Pe scîndura unui balansoar, de o parte a axului de sprijin se aşază trei copii, iar de cealaltă parte numai doi, avînd fiecare aproximativ aceeaşi greutate. Cum trebuie să se aşeze faţă de ax ca să se poată cumpăni?

12. Un acrobat stă în picioare la capătul unei scînduri, sprijinită la mijloc pe un suport. Cum

trebuie să fie greutatea unui al doilea acrobat față de a primului, pentru ca, sărind pe celălalt capăt al scîndurii, primul acrobat să fie azvîrlit în sus?

13. Să se realizeze un montaj experimental cu ajutorul căruia să se poată verifica legea pîrghiilor, în cazul unei pîrghii cu punctul de sprijin la unul din capete. Să se efectueze experimentul.

14. Cu o bară de fier lungă de 1,2 m se ridică un bloc de piatră care apasă pe capătul barei cu o forță de 1 000 N. Punctul de sprijin al barei este la 20 cm de capătul ei. Cu ce forță trebuie apăsat pe celălalt capăt al barei?

R: 200 N.

15. Un om sapă în grădină cu o cazma; lungimea părții metalice este de 24 cm iar a cozii de 1,20 m. Pentru ridicarea fiecărei brazde el înfige partea metalică în întregime în pămînt (fig. 2.68). Cu ce forță $\vec{F}$

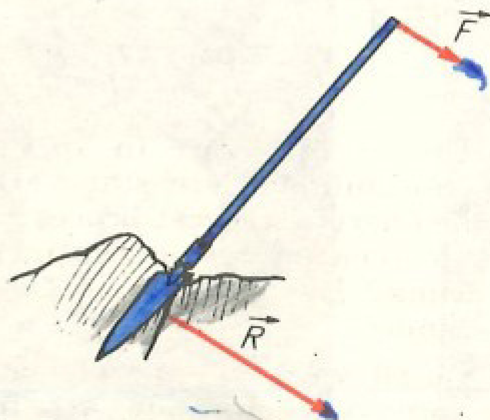


Fig. 2.68. Pentru problema 15.

trebuie să apese perpendicular pe coada cazmalei pentru ridicarea brazdei, dacă rezistența $\vec{R}$ opusă de brazdă este 800 N? Se va considera punctul de aplicație al forței rezistente $\vec{R}$ în centrul cazmalei.

R: 80 N.

16. Un șofer apasă pe pedala de frînă cu o forță $\vec{F}$ de mărime 20 N (fig. 2.45). Tija pistonului din cilindrul de frînă este articulată cu brațul AO al pedalei în punctul B, aflat față de punctul de sprijin O la o cincime din lungimea totală a brațului. Cu ce forță este apăsat pistonul în cilindrul de frînă?

R: 100 N.

17. Cu sistemul de două pîrghii articulate în P (fig. 2.69) la care $AO_1 = O_1O_1' = O_1'P = PB = BO_2$ se caută să se învingă

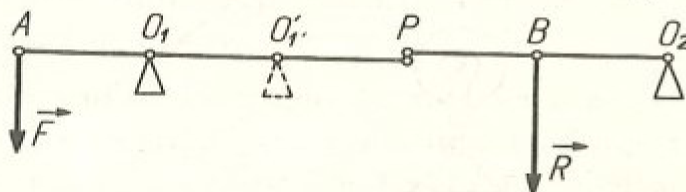


Fig. 2.69. Pentru problema 17.

rezistența $\vec{R}$ cu forța $\vec{F}$. De cîte ori este mai mică forța $\vec{F}$ decît forța $\vec{R}$? Dar dacă se mută punctul de aplicație al primei pîrghii din O_1 în O_1'?

R: $F = R$; în al doilea caz $F = \frac{R}{4}$.

18. Ce greutate maximă poate ridica un om, avînd greutatea de 500 N, cu ajutorul unui scripete fix? Dar cu ajutorul unui scripete mobil?. În ambele cazuri se neglijează forțele de frecare.

R: 500 N; 1 000 N.

19. Doi oameni cu greutățile $G_1 = 800$ N și $G_2 = 700$ N trag de capetele unei frînghii trecută peste un scripete fix. Cel de-al doilea poate dezvolta o forță musculară de două ori mai mare decît primul. Care dintre ei îl poate ridica pe celălalt?

20. Cu un scripete mobil se ridică o găleată cu greutatea de 100 N la 10 m. Cît de mare este forța

activă? Cît din lungimea firului a fost trasă? Care este lucrul mecanic efectuat?

R: 50 N; 20 m; 1 000 J.

21. Cu un sistem de doi scripeţi, unul mobil şi altul fix, un om ridică un balot de 200 N (fig. 2.70) la înălţimea de 10 m. Cu ce forţă trebuie să tragă de capătul firului? Care este lucrul mecanic efectuat?

R: 100 N; 2 000 J.

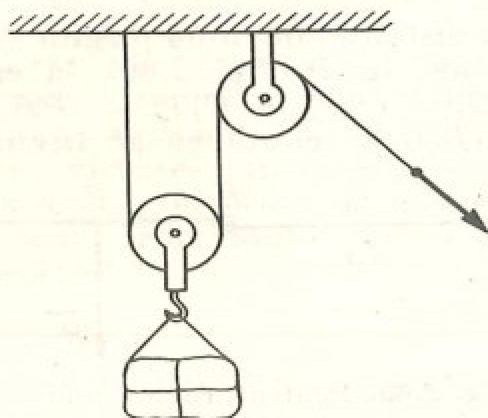


Fig. 2.70. Pentru problema 21.

22. Ce greutate maximă poate ridica un om cu sistemul de scripeţi din figura precedentă, dacă greutatea proprie este de 800 N?

R: 1 600 N.

23. Un butoi cu greutatea de 1 500 N este urcat fără frecare pe un plan înclinat cu lungimea de 3 m la înălţimea de 1 m. Cu ce forţă trebuie împins? Care este lucrul mecanic efectuat?

R: 500 N; 1 500 J.

24. Două corpuri de greutate G sînt legate cu un fir trecut peste un scripete montat în vîrful unui plan înclinat (fig. 2.71). Poate fi ridicat corpul de pe planul înclinat cu ajutorul celuilalt?

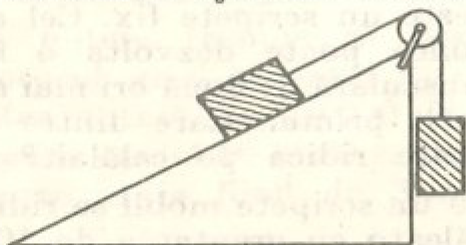


Fig. 2.71. Pentru problema 24.

25. Pe un plan înclinat de lungime 10 m şi înălţime 1 m este urcat în mişcare uniformă un vagonet cu greutatea de 2 000 N. Forţa de frecare este 50 N. Să se calculeze forţa activă necesară şi randamentul planului înclinat.

R: 250 N; 80%.

26. O săniuţă coboară pe derdeluş. Ce fel de energie are săniuţa cînd se află: a) în vîrful derdeluşului, înainte de lansare; b) la mijlocul derdeluşului; c) la baza derdeluşului?

27. O bilă cade pe capătul unui resort (fig. 2.72), de la înălţimea h. La ce înălţime maximă poate fi aruncată bila, după ce a căzut pe resort, prin destinderea acestuia? Analizaţi transformările de energie în acest proces. Se neglijează frecările.

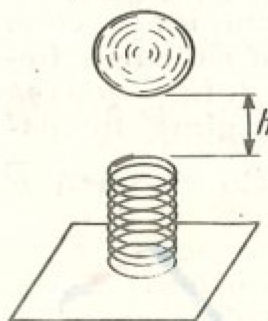


Fig. 2.72. Pentru problema 27.

28. Un inotător sare în apă de pe trambulină. Care sînt variaţiile de energie în acest proces? Unde va avea energie potenţială maximă? Dar energie cinetică maximă?

29. Cu cît va creşte energia cinetică a unui cărucior, dacă este împins de un copil cu o forţă constantă de 10 N pe distanţă de 5 m? Forţa de frecare este neglijabilă.

R: 50 J.

30. Un jucător ridică o minge, cu greutatea de 3 N, de la sol pînă la înălţimea de 2 m. Cu cît creşte energia potenţială a sistemului minge-Pămînt?

R: 6 J.

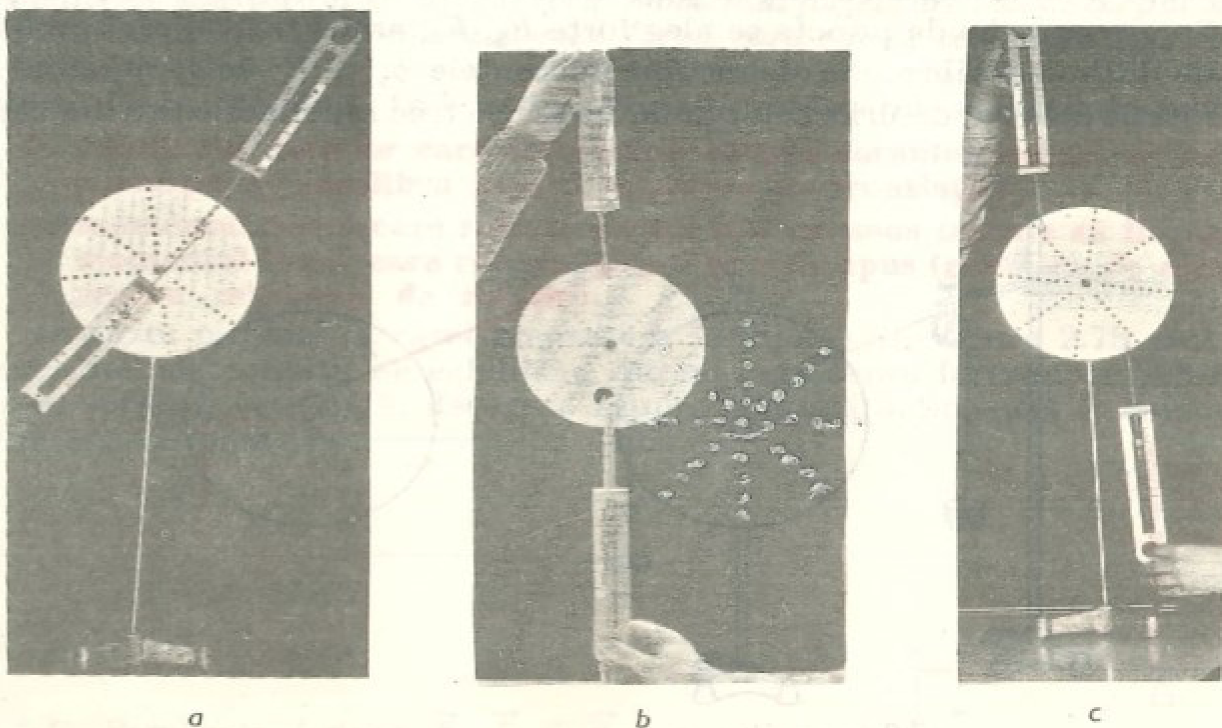
2.3. Echilibrul mecanic al solidului

Momentul forţei

Aţi întîlnit noţiunea de echilibru la studiul mecanismelor simple: o pîrghie sau un scripete sînt în echilibru dacă îşi menţin starea de repaus. Despre orice corp aflat în repaus faţă de un reper se spune că este în *echilibru*. Cărţile şi caietele aşezate pe bancă, hainele agăţate în cuier, lampa suspendată de tavan sînt corpuri în echilibru. Asupra unui corp aflat în echilibru pot să acţioneze mai multe forţe, dar efectele lor se compensează reciproc, astfel încît viteza corpului nu se modifică. Aceasta înseamnă că forţa rezultantă egală cu suma vectorială a tuturor forţelor ce acţionează asupra corpului este nulă.

Aşadar, **rezultanta forţelor ce acţionează asupra unui corp aflat în echilibru este nulă.** Să verificăm, cu ajutorul unui experiment, dacă această condiţie este suficientă pentru a se realiza echilibrul.

E *Experiment:* Un disc, perforat în lungul diametrelor, se montează astfel încît să se poată roti în jurul unui ax ce trece prin centrul său. Trageţi în sensuri opuse de două dinamometre cu capetele fixate în aceeaşi perforaţie a discului (fig. 2.73, *a)*, astfel încît dinamometrele să indice aceeaşi valoare. Rezultanta celor două forţe cu care acţionaţi asupra discului este, în acest caz, nulă. Veţi observa că discul rămîne în echilibru, indiferent în ce punct fixaţi capetele celor două dinamometre.



a b c

Fig. 2.73. Asupra unui disc perforat acţionează două forţe egale şi de sensuri opuse: *a)* forţele au acelaşi punct de aplicaţie; *b)* forţele au acelaşi suport, dar puncte de aplicaţie diferite; *c)* forţele au suporturi şi puncte de aplicaţie diferite.

Acționați apoi cu aceleași două forțe egale ca valoare, pe aceeași direcție, în sens opus (forțe opuse), deci cu rezultantă nulă, dar schimbîndu-le punctele de aplicație, ca în figura 2.73, *b*. Veți observa că discul rămîne în echilibru. Apoi schimbați punctele de aplicație ale celor două forțe egale ca valoare și de sensuri opuse ca în figura 2.73, *c*, astfel încît direcțiile celor două forțe să fie diferite. Veți observa că discul nu mai rămîne în echilibru, ci este pus în mișcare de rotație.

Concluzie: dacă două forțe ce acționează asupra unui corp au suporturi (direcții) și puncte de aplicație diferite, pentru realizarea echilibrului nu este suficient ca rezultanta celor două forțe să fie nulă, ci mai trebuie îndeplinită o condiție.

Pentru a găsi această condiție, vom generaliza condiția de echilibru, stabilită experimental în cazul pîrghiei, anume că raportul forțelor F/R este egal cu raportul invers al brațelor b_R/b_F:

$$\frac{F}{R} = \frac{b_R}{b_F} \quad \text{sau} \quad F \cdot b_F = R \cdot b_R.$$

În acest scop vom utiliza discul perforat.

E *Experiment:* Forțele care acționează asupra discului vor fi greutățile unor cîrlige cu discuri, pe care le agățați de discul perforat, cu ajutorul unor sfori. Direcția de acțiune a forțelor poate fi schimbată, trecînd aceste sfori peste scripeți ficși (fig. 2.74, *a*). Se suspendă corpuri de o parte și de alta a discului, în puncte oarecare A, B (fig. 2.74, *b*). Pentru fiecare pereche de puncte se aleg forțe F_1, F_2, astfel încît discul perforat să fie în echilibru. Se determină distanțele b_1 și b_2 de la punctul de rotație O la suporturile celor două forțe. Se trec rezultatele într-un tabel.

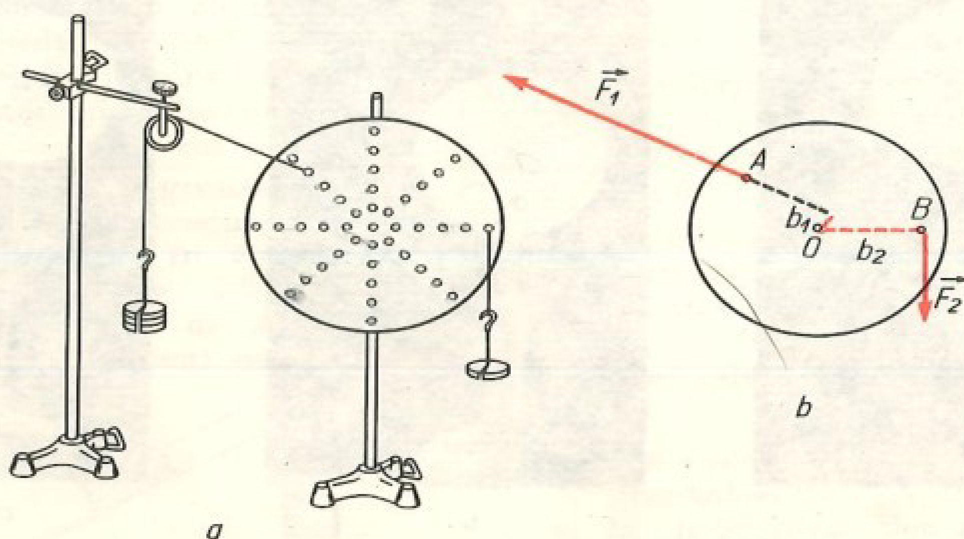


Fig. 2.74. Studiul echilibrului unui disc perforat: *a)* dispozitivul experimental; *b)* forțele și brațele forțelor.

Iată, de exemplu, un tabel cu rezultate:

F_1	F_2	b_1	b_2	F_1b_1	F_2b_2
2	2	10	10	20	20
4	2	5	10	20	20
5	1	3	15	15	15
6	4	2	3	12	12

Concluzie: La echilibru, produsul F_1b_1 corespunzător forţei care roteşte discul într-un sens este egal cu produsul F_2b_2 corespunzător forţei care roteşte discul în sens contrar: $F_1b_1 = F_2b_2$.

Distanţa de la punctul de rotaţie O la suportul forţei se numeşte *braţul forţei*. **Produsul dintre valoarea unei forţe $\vec{F}$ şi braţul ei b** defineşte o nouă mărime fizică, numită **momentul forţei $\vec{F}$** faţă de punctul O, notată simbolic cu M:

$$M = F \cdot b.$$

Momentul unei forţe descrie efectul de rotaţie al forţei. Unitatea de măsură în SI a momentului forţei este: $[M]_{SI} = [F]_{SI}[b]_{SI} = 1\ N \cdot m$, numită newton-metru.

Condiţii de echilibru

La echilibru, efectele de rotaţie ale forţelor ce acţionează asupra unui corp se compensează reciproc, ceea ce se poate exprima cantitativ cu ajutorul momentelor acestor forţe: *la echilibru, momentul forţei care roteşte corpul într-un sens trebuie să fie egal cu momentul forţei care roteşte corpul în sens contrar.*

Aşadar, pentru ca un corp asupra căruia acţionează simultan mai multe forţe să fie în echilibru, trebuie îndeplinite următoarele **condiţii de echilibru:**

1. **rezultanta forţelor care acţionează asupra corpului trebuie să fie nulă (condiţia de echilibru pentru mişcarea de translaţie);**
2. **momentul forţei care roteşte corpul într-un sens trebuie să fie egal cu momentul forţei care roteşte corpul în sens opus (condiţia de echilibru pentru mişcarea de rotaţie).**

În cazul pîrghiei (a cărei greutate o neglijăm) din figura 2.75 sînt îndeplinite ambele condiţii de echilibru. Astfel, rezultanta forţelor ce acţionează asupra pîrghiei este nulă, deoarece asupra pîrghiei acţionează în punctul de

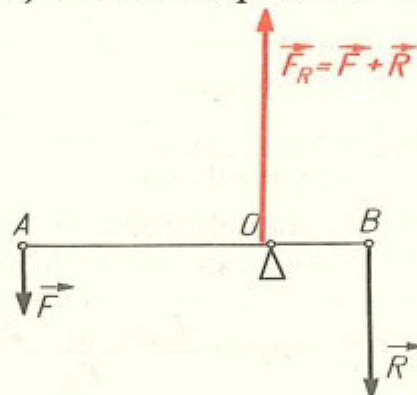


Fig. 2.75. Rezultanta forţelor $\vec{F}$, $\vec{R}$ şi $\vec{F_R}$ ce acţionează asupra pîrghiei este nulă.

sprijin o forță de reacțiune $\vec{F}_R$, de mărime egală cu suma mărimilor forței active $\vec{F}$ și a celei rezistente $\vec{R}$, paralelă dar de sens contrar acestora, ca răspuns la apăsarea exercitată de pîrghie asupra sprijinului (fig. 2.75). De asemenea, momentul forței active față de punctul de sprijin O este egal cu momentul forței rezistente față de punctul O, iar momentul forței de reacțiune $\vec{F}_R$ față de punctul O este nul. Forța activă și forța rezistentă rotesc pîrghia în sensuri opuse, efectele lor anulîndu-se; fiind îndeplinite ambele condiții, pîrghia este în echilibru.

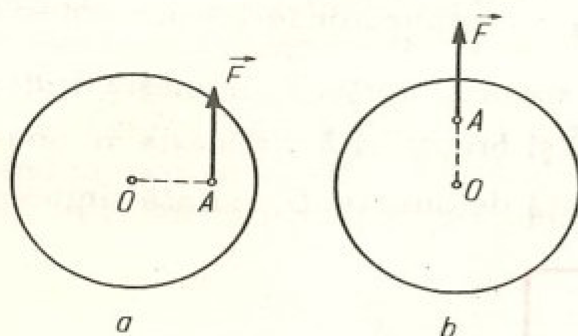


Fig. 2.76. Pentru problema rezolvată 1.

Probleme rezolvate

1. Discul din figura 2.76 se poate roti în jurul punctului O și este acționat de o forță $F = 5$ N, al cărei punct de aplicație este la 2 cm de O. În timpul rotației discului forța rămîne pe aceeași direcție și în același sens. Să se afle momentul forței față de punctul O în cele două cazuri din figură.

Rezolvare. Pentru a afla momentul forței față de punctul O, se determină brațul forței, ducînd din O o perpendiculară pe direcția forței.

a) Brațul forței este $OA = 2$ cm, iar momentul forței față de O va fi:

$$M_1 = F \cdot OA = 5 \text{ N} \cdot 0{,}02 \text{ m} = 0{,}1 \text{ Nm}.$$

b) Brațul forței va fi nul, deci momentul forței față de O este nul. Momentul forței față de un punct aflat pe suportul ei este nul. În acest caz forța $\vec{F}$ nu rotește discul.

2. Asupra unui disc ce se poate roti în jurul centrului său O, avînd raza $r = 1$ m, acționează, în planul discului, două forțe $F_1 = 50$ N și $F_2 = 30$ N, cu brațele $b_1 = 50$ cm și $b_2 = 25$ cm (fig. 2.77), care îl rotesc în sensul acelor de ceas. Este posibil ca discul să fie în echilibru, dacă acționează și o a treia forță $F_3 = 13$ N, care ar roti discul în sens invers acelor de ceas?

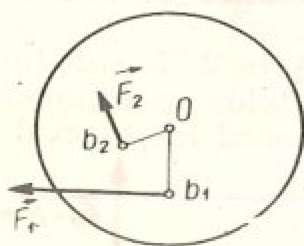


Fig. 2.77. Pentru problema rezolvată 2.

Rezolvare. La echilibru, momentele forțelor $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$, care rotesc discul în sensul acelor de ceas, trebuie să fie compensate de momentul forței $\vec{F}_3$, care rotește discul în sens invers. Condiția de echilibru se scrie: $F_1b_1 + F_2b_2 = F_3b_3$, de unde rezultă că forța $\vec{F}_3$ ar trebui să aibă brațul:

$$b_3 = \frac{F_1b_1 + F_2b_2}{F_3} = \frac{50 \text{ N} \cdot 0{,}5 \text{ m} + 30 \text{ N} \cdot 0{,}25 \text{ m}}{13 \text{ N}} = 2{,}5 \text{ m}.$$

Acest lucru nu este posibil, deoarece brațul forței nu poate depăși raza discului $r = 1$ m! Ar însemna că forța $\vec{F}_3$ să acționeze într-un punct în afara discului, deci n-ar mai putea acționa asupra lui.

Cuplu de forțe

Prin experimentul din figura 2.73, *b* se constată că sub acțiunea a două forțe paralele, egale și de sensuri opuse, un corp se poate roti. *Ansamblul a două forțe paralele, egale ca valoare și de sensuri opuse ce acționează asupra unui corp este numit cuplu de forțe.*

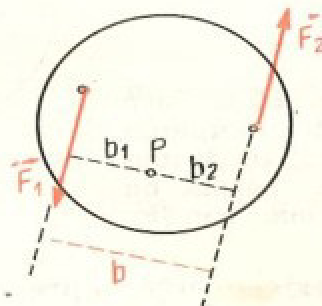


Fig. 2.78. Cuplu de forțe.

Pentru a exprima cantitativ efectul de rotație al unui cuplu de forțe, trebuie calculate momentele celor două forțe $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$ (fig. 2.78). Alegem un punct P oarecare, în planul forțelor. Din acest punct ducem o perpendiculară pe suportul forței $\vec{F}_1$, pentru a afla brațul ei, b_1, și o perpendiculară pe suportul forței $\vec{F}_2$, pentru a afla brațul ei, b_2. Forța $\vec{F}_1$ va avea față de punctul P un moment $M_1 = F_1 \cdot b_1$, iar forța $\vec{F}_2$ un moment $M_2 = F_2 \cdot b_2$. Deoarece ambele forțe rotesc corpul în același sens, efectele lor de rotație se adună. *Efectul de rotație al cuplului de forțe va fi descris de suma momentelor celor două forțe, numită momentul cuplului, notat M_c:*

$$M_c = M_1 + M_2 = F_1 b_1 + F_2 b_2.$$

Forțele fiind egale în mărime, se poate nota $F_1 = F_2 = F$, astfel încît momentul cuplului se poate scrie:

$$M_c = F b_1 + F b_2 = F(b_1 + b_2).$$

Se observă că $b_1 + b_2$ reprezintă distanța dintre suporturile celor două forțe, numită *brațul cuplului*, care se notează $b = b_1 + b_2$. Se obține:

$$M_c = F \cdot b.$$

Relația arată că momentul cuplului și deci efectul de rotație produs de cuplu asupra unui corp este cu atît mai mare, cu cît mărimea forței și brațul cuplului sînt mai mari. Pentru a putea fi acționate cu un efort cît mai mic, piesele puse în mișcare de cupluri de forțe trebuie să aibă diametre cît mai mari. De exemplu, volanul unui autovehicul se mînuiește cu atît mai ușor, cu cît are diametrul mai mare.

Din relația $M_c = Fb$ rezultă că momentul cuplului este nul dacă brațul cuplului este nul. Dacă forțele cuplului ajung în prelungire, momentul cuplului este nul și deci cuplul nu mai rotește corpul asupra căruia acționează. Se poate verifica această concluzie cu ajutorul discului perforat și a două dinamometre (fig. 2.79).

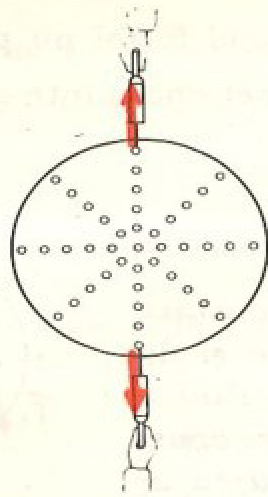


Fig. 2.79. Dacă forţele cuplului ajung în prelungire, corpul nu se roteşte.

Centrul de greutate

Un corp solid poate fi împărţit, mintal, într-un număr extrem de mare de părţi, de dimensiuni atît de mici, încît să le putem considera punctuale. Fiecare parte a corpului este atrasă de Pămînt cu o forţă, ce va reprezenta greutatea acelei părţi. Forţele de greutate, ce acţionează asupra fiecărei părţi în care se consideră împărţit corpul, sînt toate paralele între ele (fig. 2.80). Rezultanta acestor forţe reprezintă greutatea $\vec{G}$ a întregului corp. Punctul de aplicaţie al acestei rezultante se numeşte *centru de greutate*, *C* (fig. 2.80).

Poziţia centrului de greutate al unui corp poate fi determinată experimental, pornind de la următoarea observaţie: *un corp suspendat de un fir este în echilibru numai dacă greutatea lui $\vec{G}$ şi reacţiunea firului $\vec{R}$ în punctul de susţinere sînt pe aceeaşi verticală* (fig. 2.81, *a*). În acest caz, forţele $\vec{G}$ şi $\vec{R}$ fiind în prelungire, braţul cuplului este nul şi corpul nu se roteşte. Dacă forţele $\vec{G}$ şi $\vec{R}$ n-ar fi pe aceeaşi verticală (fig. 2.81, *b*), ele ar forma un cuplu cu braţul diferit de zero, deci cu moment diferit de zero, sub acţiunea căruia corpul s-ar roti pînă ce forţele ar ajunge în prelungire. La echilibru, forţele $\vec{G}$ şi $\vec{R}$ sînt pe aceeaşi verticală; tot pe aceeaşi verticală vor fi şi punctele lor de aplicaţie: centrul de greutate *C* şi punctul de susţinere *O* (fig. 2.81, *a*).

Aşadar, *un corp suspendat este în echilibru cînd centrul său de greutate şi punctul de susţinere sînt pe aceeaşi verticală.*

Dacă se suspendă corpul în alt punct *O'* (fig. 2.81, *c*), la echilibru, centrul de greutate *C* trebuie să fie pe verticala care trece prin *O'*. Rezultă că centrul de greutate se găseşte la intersecţia verticalelor duse, la echilibru, prin punctele de susţinere.

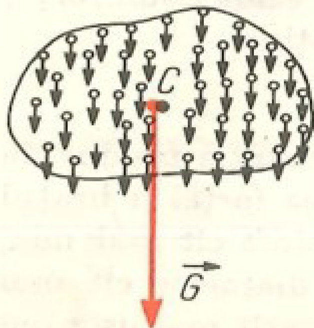


Fig. 2.80. Centrul de greutate al unui corp este punctul de aplicaţie al rezultantei forţelor cu care sînt atrase de Pămînt toate părţile în care este împărţit corpul.

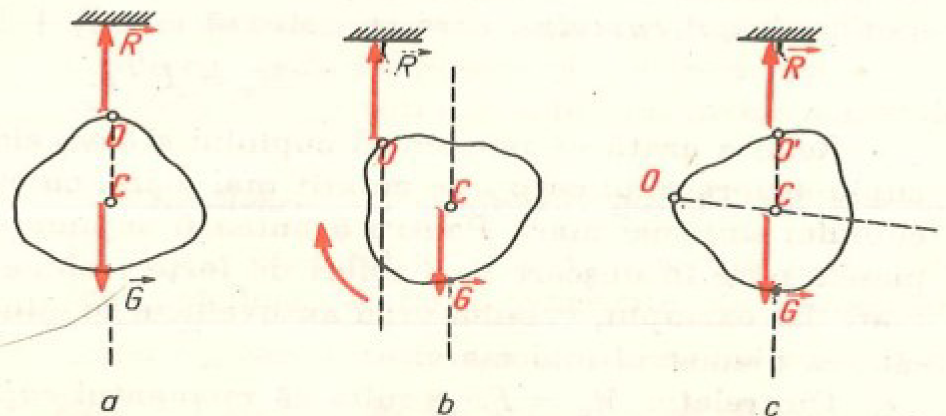


Fig. 2.81. Echilibrul unui corp suspendat: *a)* la echilibru greutatea şi reacţiunea în fir sînt pe aceeaşi verticală; *b)* în caz contrar, braţul cuplului este diferit de zero şi corpul se roteşte; *c)* schimbînd punctul de susţinere în *O'*, la echilibru *O'* şi *C* sînt pe aceeaşi verticală.

Pe baza acestei concluzii puteţi determina experimental poziţia centrului de greutate al unor plăci subţiri, de diferite forme: pătrate, discuri, triunghiuri, dreptunghiuri, forme neregulate etc.

E *Experiment:* Suspendaţi placa cu un fir, astfel încît să fie în echilibru şi trasaţi pe placă verticala coborîtă prin punctul de susţinere (fig. 2.82, *a*). Suspendaţi apoi placa din alt punct şi trasaţi din nou pe ea verticala coborîtă prin punctul de susţinere (fig. 2.82, *b*). Punctul C, aflat la intersecţia celor două drepte trasate, reprezintă centrul de greutate al plăcii. Suspendaţi fiecare placă din 3—4 puncte diferite şi verificaţi că toate verticalele coborîte din punctele de susţinere se întîlnesc în punctul C, centrul de greutate al plăcii respective.

Cunoaşterea poziţiei centrului de greutate este importantă în construcţiile de clădiri, poduri, maşini etc. pentru a se asigura echilibrul părţilor componente ale acestor construcţii.

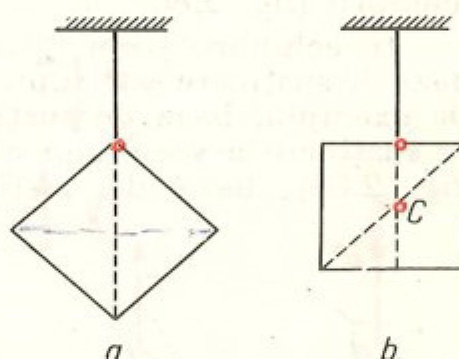


Fig. 2.82. Determinarea experimentală a centrului de greutate al unei plăci.

Echilibrul corpurilor sub acţiunea greutăţii

Aşezaţi o bilă pe fundul unui vas de formă semisferică (fig. 2.83). Bila va fi în echilibru sub acţiunea greutăţii $\vec{G}$ şi a forţei de reacţiune $\vec{R}$ a suprafeţei de sprijin, egale ca mărime şi de sensuri opuse. Momentele celor două forţe faţă de punctul de sprijin sînt nule. Sînt realizate deci cele două condiţii de echilibru. Aşezaţi apoi bila pe o suprafaţă sferică, de exemplu pe o minge, astfel încît să fie în echilibru (fig. 2.84). Forţele $\vec{G}$ şi $\vec{R}$ sînt egale ca valoare şi de sensuri opuse, momentele lor faţă de punctul de sprijin sînt nule. Condiţiile de echilibru vor fi îndeplinite şi cînd aşezaţi bila pe o masă orizontală şi plană (fig. 2.85). Dacă deplasaţi puţin bila faţă de poziţia de echili-

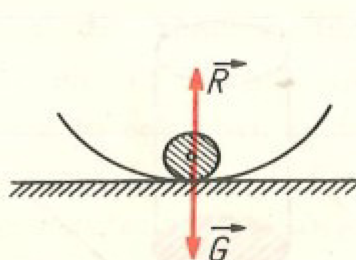


Fig. 2.83. Bila este în echilibru stabil.

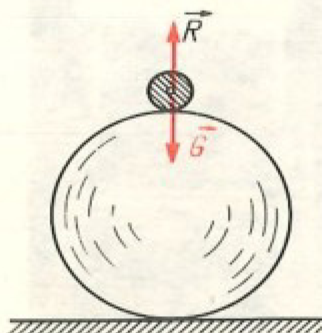


Fig. 2.84. Bila este în echilibru instabil.

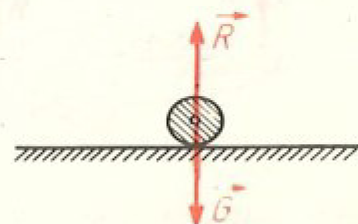


Fig. 2.85. Bila este în echilibru indiferent.

bru, veți constata însă că ea se comportă diferit în cele trei cazuri: revine în poziția de echilibru cînd e pe peretele interior al vasului semisferic (fig. 2.83), se îndepărtează din ce în ce mai mult de poziția de echilibru cînd e așezată pe minge (fig. 2.84), rămîne în orice poziție ați așeza-o pe masa plană și orizontală (fig. 2.85). Cele trei feluri de stări de echilibru diferite au fost numite: *echilibru stabil* (fig. 2.83,) *echilibru instabil* (fig. 2.84) și *echilibru indiferent* (fig. 2.85).

a) Se spune că **un corp se află în echilibru stabil dacă revine la poziția de echilibru după ce a fost scos din ea.**

Tablourile suspendate pe perete, hainele agățate în cuier, o riglă suspendată cu ajutorul unui cui trecut prin orificiul de prindere (fig. 2.86, *a)* sînt corpuri suspendate în echilibru stabil. Se observă că, *în cazul corpurilor suspendate, echilibrul stabil se realizează dacă centrul de greutate C se află sub punctul de susținere O, pe aceeași verticală* (fig. 2.86, *a)*. Cînd corpul este scos din poziția de echilibru, greutatea $\vec{G}$ și forța de reacțiune $\vec{R}$ care apare în punctul de susținere formează un cuplu, care readuce corpul în poziția de echilibru (fig. 2.86, *b)*.

În echilibru stabil poate fi și un corp sprijinit pe o bază de susținere. Baza de susținere este suprafața obținută prin unirea punctelor sale marginale. De exemplu, baza de susținere a unui cub este un pătrat (fig. 2.87), baza de susținere a scaunului este dreptunghiul mărginit de picioarele scaunului (fig. 2.88), baza de susținere a unui cilindru este un cerc (fig. 2.89) etc.

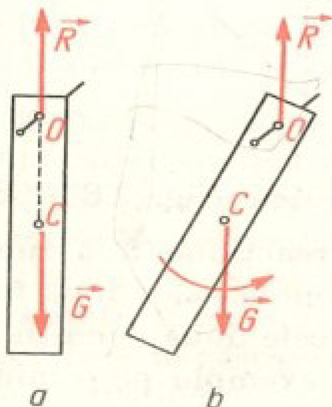


Fig. 2.86. Echilibrul stabil al unui corp suspendat: *a)* poziția de echilibru; *b)* cuplul format de forțele $\vec{G}$ și $\vec{R}$ readuce corpul în poziția de echilibru.

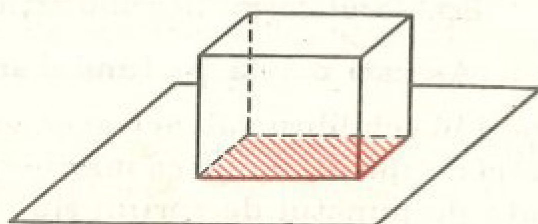


Fig. 2.87. Baza de susținere a unui cub.

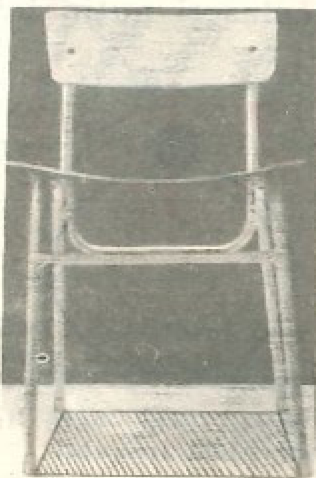


Fig. 2.88. Baza de susținere a unui scaun. ⟶

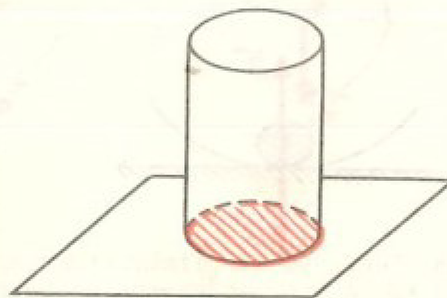


Fig. 2.89. Baza de susținere a unui cilindru.

Cînd verticala coborîtă din centrul de greutate cade în interiorul bazei de susţinere, corpul este în echilibru stabil (fig. 2.90, *a)*, deoarece greutatea $\vec{G}$ şi reacţiunea suprafeţei de sprijin $\vec{R}$ sînt pe aceeaşi verticală. La o uşoară înclinare a corpului, reacţiunea are punctul de aplicaţie într-un punct marginal al suprafeţei de sprijin, astfel încît greutatea G şi forţa de reacţiune $\vec{R}$ formează un cuplu care readuce corpul în poziţia de echilibru (fig. 2.90, *b)*. Dacă verticala coborîtă din centrul de greutate cade în afara bazei de susţinere, greutatea $\vec{G}$ şi reacţiunea $\vec{R}$ formează un cuplu, care răstoarnă corpul (fig. 2.90, *c)*.

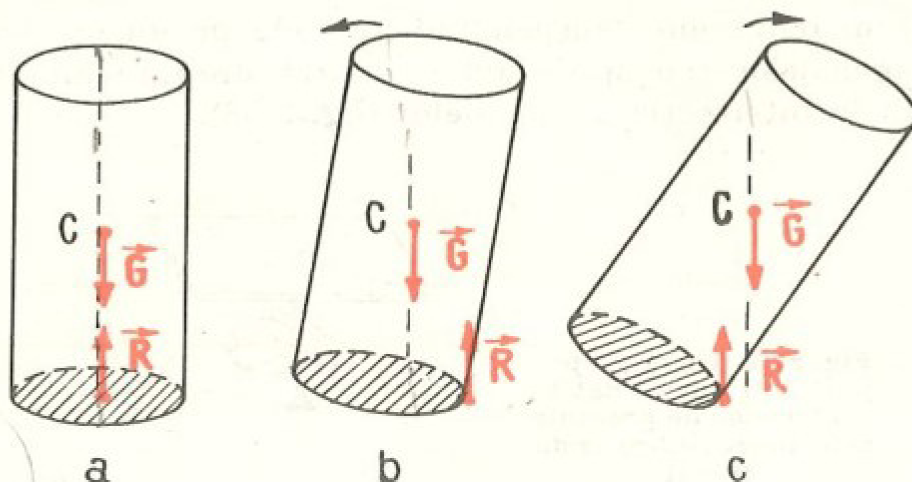


Fig. 2.90. *a)* Corp sprijinit, în echilibru stabil; *b)* cuplul format de greutatea $\vec{G}$ şi forţa de reacţiune $\vec{R}$ readuce la poziţia de echilibru sau, *c)* răstoarnă corpul.

Pentru ca verticala dusă prin centrul de greutate să cadă în interiorul bazei de susţinere, suprafaţa bazei trebuie să fie cît mai mare şi centrul de greutate cît mai aproape de baza de susţinere. De aceea, *un corp este în echilibru stabil, dacă la mici devieri faţă de poziţia de echilibru centrul său de greutate urcă.*

b) **Starea de echilibru instabil se caracterizează prin faptul că un corp, scos din această stare, nu mai revine în ea.** O vergea sprijinită pe deget este în echilibru instabil. În acest caz, *centrul de greutate C se găseşte deasupra punctului de susţinere, pe aceeaşi verticală* (fig. 2.91, *a)*. Cînd corpul este scos din această poziţie, greutatea $\vec{G}$ şi reacţiunea $\vec{R}$ în punctul de sprijin

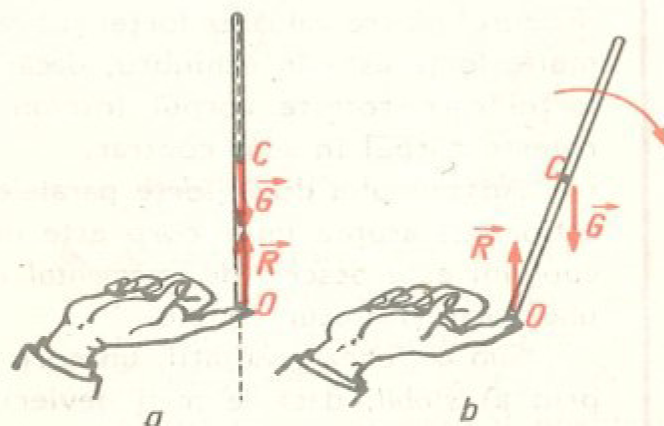


Fig. 2.91. *a)* O vergea în echilibru instabil; *b)* cuplul format de forţele $\vec{G}$ şi $\vec{R}$ îndepărtează corpul de la poziţia de echilibru.

formează un cuplu care răstoarnă corpul (fig. 2.91, *b*). Se observă că *la mici devieri ale corpului față de poziția de echilibru instabil, centrul său de greutate coboară.*

c) **Dacă un corp rămîne în echilibru oricum l-am așeza, se spune că este în echilibru indiferent.** În acest caz, momentul cuplului format de greutatea corpului și reacțiunea în punctul de sprijin este, în orice poziție a corpului, nul. Acest lucru se întîmplă, dacă *centrul de greutate și punctul de susținere se găsesc mereu pe aceeași verticală.* Un corp suspendat sau sprijinit chiar în centrul său de greutate este în echilibru indiferent, deoarece forțele $\vec{G}$ și $\vec{R}$ formează un cuplu de moment nul, în orice poziție a corpului (fig. 2.92). Puteți realiza echilibru indiferent, suspendînd o riglă pe un cui bătut chiar la intersecția diagonalelor sau sprijinind o bucată dreptunghiulară de carton pe un ac, înfipt la intersecția diagonalelor (fig. 2.93).

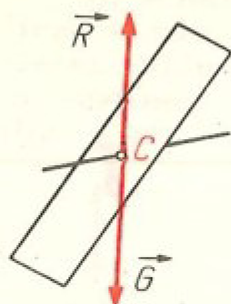


Fig. 2.92. Un corp sprijinit sau suspendat în centrul său de greutate este în echilibru indiferent.

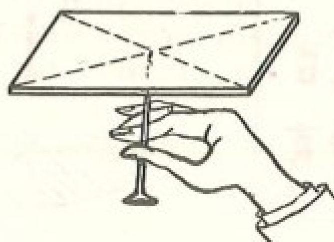


Fig. 2.93. Echilibru indiferent.

Rezumat

Un corp aflat în repaus față de un reper este în echilibru. Efectul de rotație al unei forțe este descris de *momentul forței*, mărime fizică definită prin produsul dintre valoarea forței și brațul ei. Un corp acționat simultan de mai multe forțe este în echilibru, dacă: rezultanta forțelor este nulă; momentul forței care rotește corpul într-un sens este egal cu momentul forței care rotește corpul în sens contrar.

Ansamblul a două forțe paralele, egale ca valoare și de sensuri opuse ce acționează asupra unui corp este numit *cuplu de forțe*. Efectul de rotație al cuplului este descris de *momentul cuplului*, egal cu produsul dintre valoarea unei forțe și brațul cuplului.

Sub acțiunea greutății, un corp suspendat sau sprijinit poate fi în echilibru: a) *stabil*, dacă la mici devieri față de poziția de echilibru centrul său de greutate urcă; b) *instabil*, dacă la mici devieri față de poziția de echilibru centrul său de greutate coboară; c) *indiferent*, dacă, oricum ar fi așezat, corpul rămîne în echilibru.

1. În ce condiții momentul unei forțe față de un punct este nul?

2. Cum variază momentul unei forțe față de un punct, dacă mărimea forței crește de 3 ori, iar brațul ei scade de 3 ori?

3. Cum variază momentul unei forțe față de un punct, dacă forța alunecă pe suportul ei, păstrîndu-și aceeași mărime și același sens?

4. Să se construiască brațul forței și să se indice sensul de rotație al corpului în cazurile din figura 2.94.

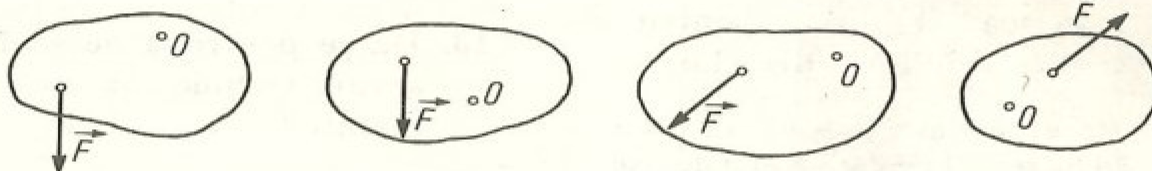


Fig. 2.94. Pentru problema 4.

5. Cum se închide ușa cu efort mai mic: cînd este împinsă de lîngă clanță sau din apropierea balamalelor? De ce?

6. Asupra unui disc, ce se poate roti în jurul centrului său, acționează, în planul discului, o forță $F_1 = 20$ N, avînd punctul de aplicație A, la distanța $b_1 = 10$ cm de centrul discului, astfel încît îl rotește în sensul acelor de ceas (fig. 2.95). Să se afle forța F_2, care trebuie să acționeze asupra discului, la o distanță $b_2 = 25$ cm de centrul său, pentru a-l menține în echilibru. În ce sens ar trebui să rotească discul forța F_2, dacă ar acționa singură?

R: 8 N; în sens invers mișcării acelor de ceas.

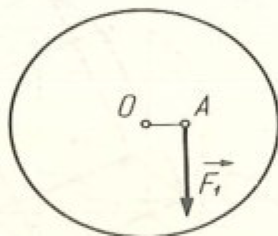


Fig. 2.95. Pentru problema 6.

7. Verificați dacă discul din figura 2.96 este în echilibru. Se cunosc: $F_1 = 50$ N, $F_2 = 40$ N, $OA = 20$ cm, $OB = 30$ cm. Ce valoare ar trebui să aibă OB pentru a realiza echilibrul?

R: 25 cm.

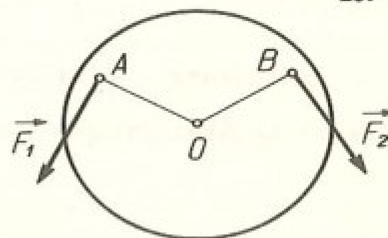


Fig. 2.96. Pentru problema 7.

8. Asupra unui disc, ce se poate roti în jurul centrului său, acționează, în planul discului, două forțe $F_1 = 40$ N și $F_2 = 60$ N, care-l rotesc în sensul acelor de ceas, avînd brațele $b_1 = 20$ cm și $b_2 = 10$ cm față de centrul discului și o forță $F_3 = 50$ N,

cu brațul $b_3 = 25$ cm, care-l rotește în sens invers acelor de ceas. Să se reprezinte într-un desen forțele și brațele lor. Să se afle:

a) momentele acestor forțe față de centrul discului;

b) în ce sens se rotește discul;

c) ce moment trebuie să aibă o nouă forță și cum trebuie să rotească ea discul pentru a realiza echilibrul discului.

R: a) 8 Nm; 6 Nm; 12,5 Nm; b) în sensul mișcării acelor de ceas; c) în sens invers mișcării acelor de ceas; 1,5 Nm.

9. La capetele diametrului orizontal al unui disc, ce se poate roti în jurul centrului său, acționează două forțe, $F_1 = F_2 = 10$ N, ca în figura 2.97. În timpul rotației discului, forțele își păstrează direcția și sensul. Să se afle momentul acestui cuplu în cele două situații reprezentate în figură. Raza discului este $r = 10$ cm.

R: 2 Nm; 0.

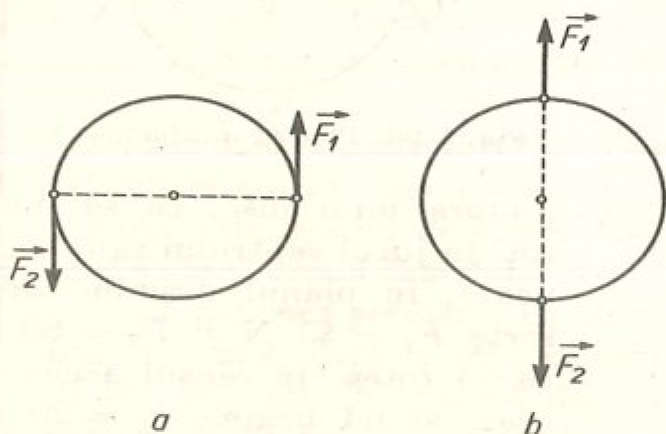


Fig. 2.97. Pentru problema 9.

10. Cu ajutorul unui ac lung cu ață, determinați experimental poziția centrului de greutate al unui măr sau al unui cartof.

11. De ce o umbrelă cu mîner curb, atîrnată în cuier, nu stă în poziție verticală?

12. De ce cînd ducem un sac în spate ne aplecăm înainte?

13. De ce pentru a ne scula de pe scaun trebuie să ne aplecăm înainte?

14. În ce fel de echilibru stă pe marginea mesei un creion în care s-a înfipt un briceag, ca în figura 2.98? Verificați răspunsul, realizînd acest experiment.

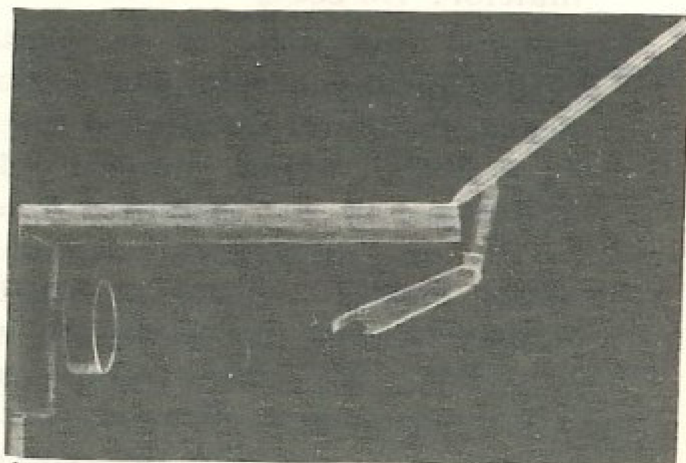


Fig. 2.98. Pentru problema 14.

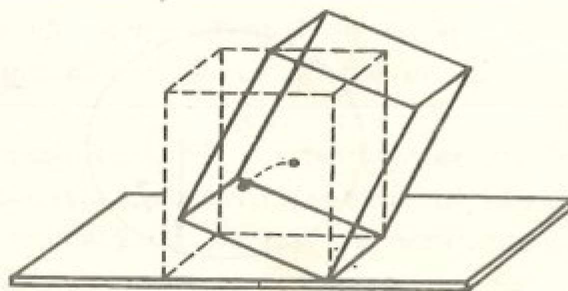


Fig. 2.99. Pentru problema 15.

15. În ce fel de echilibru este o cutie de chibrituri, pe care o răsturnăm pe masă, cînd centrul ei de greutate ocupă poziția cea mai înaltă (fig. 2.99)?

16. Înfigeți un ac într-un dop de plută, astfel încît vîrful acului să iasă afară din dop. Înfigeți oblic două furculițe în dop și așezați vîrful acului pe buza unei sticle (fig. 2.100). Ce fel de echilibru s-a realizat?



Fig. 2.100. Pentru problema 16.

2.4. Echilibrul mecanic al fluidului

Presiunea. Unități de măsură ale presiunii

Așezați o cărămidă pe zăpadă sau pe nisip, pe fiecare din fețele ei (fig. 2.101). Ce observați? Deși greutatea cărămizii este aceeași în cele trei cazuri, ea s-a afundat diferit, deci efectele forței de greutate au fost diferite. Ceea ce diferă de la un caz la altul este mărimea suprafeței de sprijin (a bazei de susținere). Se observă că atunci cînd această arie este mai mică, efectul de afundare a cărămizii este mai mare. De asemenea, dacă așezăm două cărămizi una peste alta, deci dacă se mărește forța de apăsare (greutatea s-a dublat), cărămida se afundă mai mult. Pentru a caracteriza acest efect, se introduce o mărime fizică numită presiune. **Prin definiție, presiunea p este dată de relația $p = \frac{F}{S}$ în care F este forța uniform repartizată și orientată perpendicular pe aria S.** În SI unitatea de măsură a presiunii se numește pascal (simbol Pa). Conform relației de definiție a presiunii $[p]_{SI} = 1\ Pa = 1\ N/1\ m^2$.

Sînt admise temporar și următoarele unități de măsură ale presiunii: 1 bar $= 10^5$ Pa; 1 atmosferă normală $= 1$ atm $= 101\,325$ Pa.

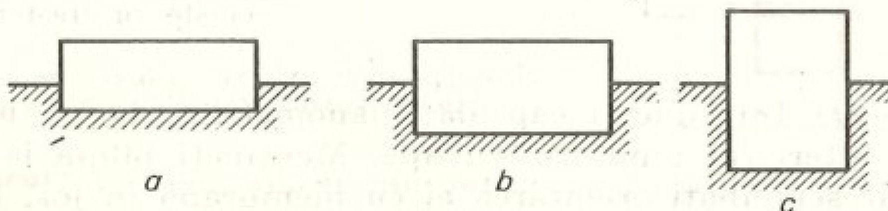


Fig. 2.101. O cărămidă așezată în zăpadă pe diferite fețe.

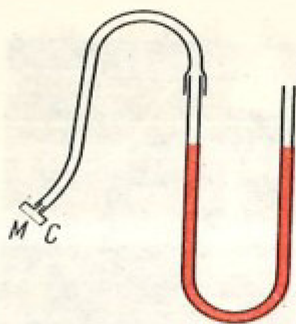


Fig. 2.102. Manometru cu capsula manometrică.

Instrumentele de măsură a presiunii se numesc *manometre.* Un manometru simplu folosit în laborator este alcătuit dintr-un tub de sticlă în formă de U, care conține un lichid colorat și are atașat la unul din brațe un tub de cauciuc prevăzut cu o cutie plată (capsula manometrică) *C* închisă cu o membrană subțire de cauciuc *M* (fig. 2.102). Introducînd capsula într-un lichid se observă o denivelare a lichidului colorat, ceea ce dovedește existența unei presiuni în interiorul lichidului.

În lichidele și în gazele aflate în repaus există o presiune, numită presiune statică. Datorită acestei presiuni, apa urcă la etajele superioare ale unui bloc sau țîșnește dintr-o fîntînă arteziană, iar pneurile cauciucurilor stau umflate.

Presiunea hidrostatică. Vase comunicante

E *Experiment:* Aveți la dispoziție un vas cu apă (un borcan) și un manometru cu capsulă manometrică. Introduceți capsula manometrică la o anumită adîncime. Observăm că se produce o denivelare a lichidului din cele două ramuri ale manometrului (în ramura atașată la capsula cu membrană de cauciuc nivelul coboară, în cealaltă ramură urcă). *Concluzie:* în interiorul unui lichid aflat în repaus există o presiune statică. Introduceți capsula manometrică în lichid la o adîncime tot mai mare (fig. 2.103, *a, b*). Constatăm că la o adîncime mai mare presiunea statică este mai mare. Această observație ne sugerează ideea că presiunea din interiorul unui lichid, la un anumit nivel, se datorește greutății straturilor de lichid de deasupra acelui nivel. Această presiune a fost denumită presiune hidrostatică.

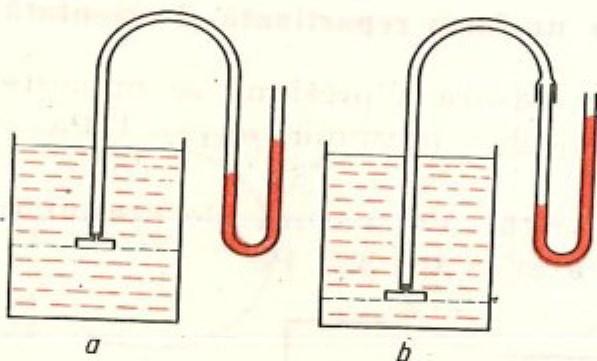


Fig. 2.103. Presiunea hidrostatică crește cu creșterea adîncimii.

E *Experiment:* Introduceți capsula manometrică la o anumită adîncime în interiorul unui vas cu apă. Mențineți pîlnia la aceeași adîncime, dar schimbați orientarea ei cu membrana în jos, în sus, lateral (fig. 2.104, *a, b*). Observați denivelarea coloanei de lichid colorat. Se

constată că, dacă menținem pîlnia la un anumit nivel și o mișcăm în diverse poziții, denivelarea lichidului din cele două ramuri se menține constantă. Rezultă că presiunea hidrostatică la un anumit nivel se exercită cu aceeași intensitate pe orice direcție: de sus în jos, de jos în sus, lateral.

E *Experiment:* Repetați experimentul anterior cu un alt lichid și observați denivelarea coloanei de lichid colorat. Comparați această denivelare cu cea din experiența anterioară. Observăm că, la o aceeași adîncime, la lichide diferite presiunea hidrostatică are valori diferite. La lichidele cu densitate mai mare presiunea hidrostatică este mai mare.

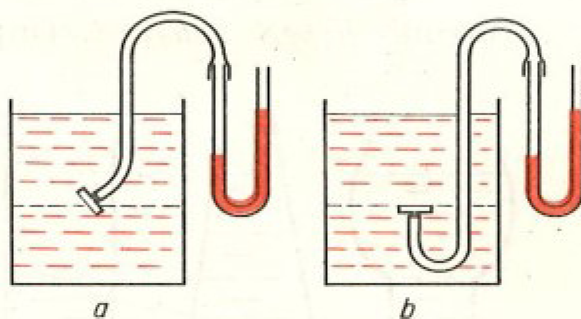


Fig. 2.104. Presiunea hidrostatică la un anumit nivel este aceeași în toate direcțiile.

Să rezumăm rezultatele experimentelor de mai sus: *Presiunea statică din interiorul unui lichid, la un anumit nivel, determinată de greutatea coloanei de lichid aflată deasupra acestui nivel se numește presiune hidrostatică.* Presiunea hidrostatică la un anumit nivel are aceeași valoare în toate direcțiile, crește cu adîncimea și depinde de natura lichidului. La lichidele cu densitate mai mare presiunea hidrostatică la un anumit nivel este mai mare. Rezultatele de mai sus se pot verifica și prin calcul. Folosind formula de definiție a presiunii $p = \frac{F}{S}$ vom afla presiunea hidrostatică la un anumit nivel avînd în vedere faptul că forța F de apăsare perpendiculară pe unitatea de suprafață este greutatea G a coloanei de lichid de deasupra acestui nivel (fig. 2.105). În acest caz, $p = \frac{G}{S}$. În această relație G este greutatea coloanei verticale de lichid de înălțime h, avînd aria bazei S și volumul $V = S \cdot h$. Dar $G = mg = V\rho g = Sh\rho g$. Înlocuind în relația presiunii, obținem $p = \frac{Sh\rho g}{S} = h\rho g$.

În concluzie

$$p = h\rho g.$$

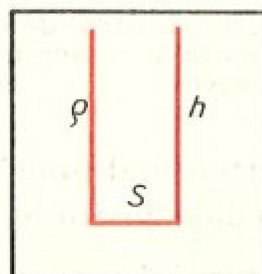


Fig. 2.105. Schiță pentru demonstrația formulei presiunii hidrostatice.

E *Experiment:* Turnăm apă în mai multe vase care comunică între ele, de forme și grosimi diferite, numite vase comunicante. Se constată că apa se ridică la același nivel în toate vasele comunicante (fig. 2.106).

Explicația acestui fapt este următoarea: considerăm o secțiune în tubul de legătură dintre două vase comunicante și notăm cu S aria acestei secțiuni (fig. 2.107). Lichidul fiind în echilibru, rezultă că mărimea forțelor F_1 și F_2 care acționează în aceste secțiuni sînt egale: $F_1 = F_2$. Dar $F_1 = p_1 S$ și $F_2 = p_2 S$ iar $p_1 = h_1 \rho g + p_0$ și $p_2 = h_2 \rho g + p_0$ în care p_0 este presiunea atmosferică.

Rezultă $h_1 \rho g S = h_2 \rho g S$. După simplificări obținem $h_1 = h_2$.

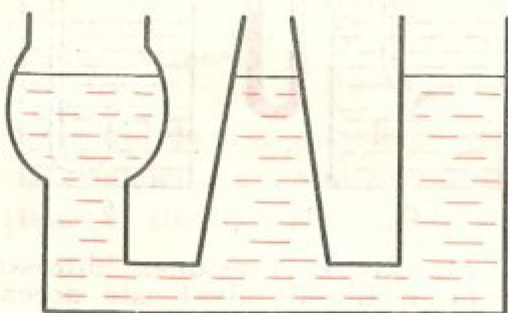


Fig. 2.106. Diferite forme de vase comunicante cu lichid.

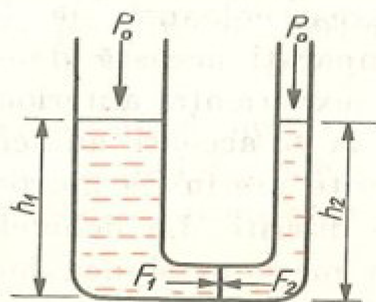


Fig. 2.107. Nivelul unui lichid aflat în două vase comunicante este același.

Legea lui Pascal

Cu aparatul reprezentat în figura 2.108 facem următorul experiment: turnăm peste apă un strat de ulei într-unul din tuburi (de exemplu în vasul larg). Vom observa că apa se ridică în celelalte tuburi la aceeași înălțime.

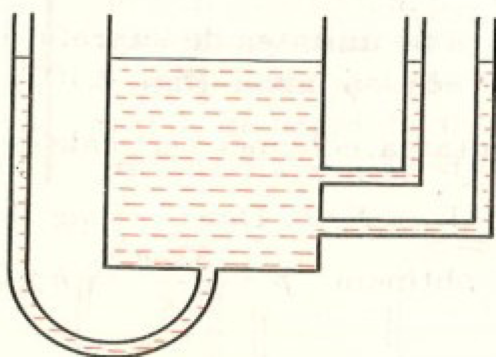


Fig. 2.108. Aparat pentru demonstrația experimentală a legii lui Pascal.

Rezultă că, datorită presiunii exercitate de coloana de ulei, s-a transmis o aceeași presiune și în celelalte tuburi. Pe baza acestui experiment se poate enunța legea lui Pascal:

Presiunea exterioară exercitată asupra unui lichid se transmite integral în toată masa lichidului și în toate direcțiile.

Legea lui Pascal își găsește aplicații practice la transmisia hidraulică a forței. Sistemul de frînare al unor autoturisme este reprezentat în figura 2.109. La o apăsare pe pedală pistonul central exercită presiunea care se transmite celor patru roți.

În figura 2.110 este reprezentată schema unei prese hidraulice acționată manual. Cu ajutorul pîrghiei P se apasă cu o forță F_1 pe pistonul mic al presei, împingînd lichidul (de exemplu ulei mineral) din cilindrul mic, de sec-

țiune S_1, în cilindrul mare, de secțiune S_2. Conform legii lui Pascal, presiunea exercitată de pistonul mic, p_1, se transmite integral pistonului mare, p_2; la echilibru, presiunile sînt egale:

$$p_1 = p_2; \text{ dar } p_1 = \frac{F_1}{S_1} \text{ și } p_2 = \frac{F_2}{S_2} \Longrightarrow$$

$$\Longrightarrow \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \Longrightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}.$$

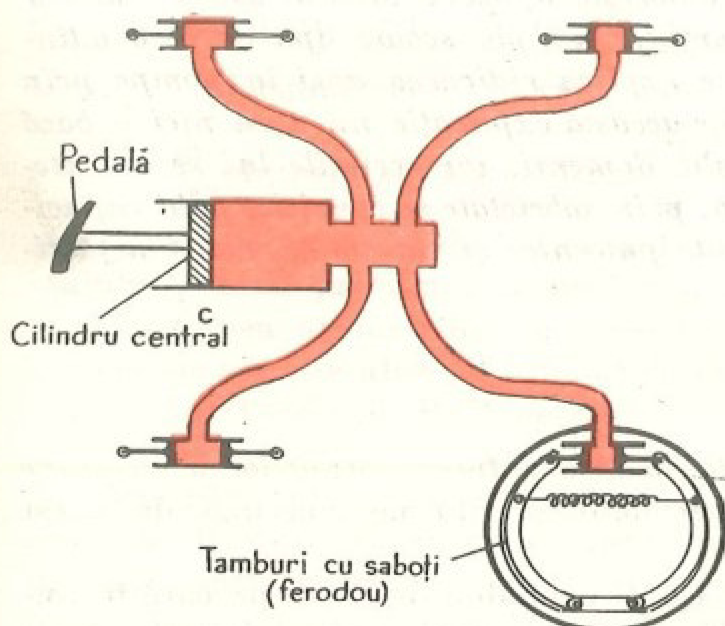


Fig. 2.109. Schema frînei hidraulice.

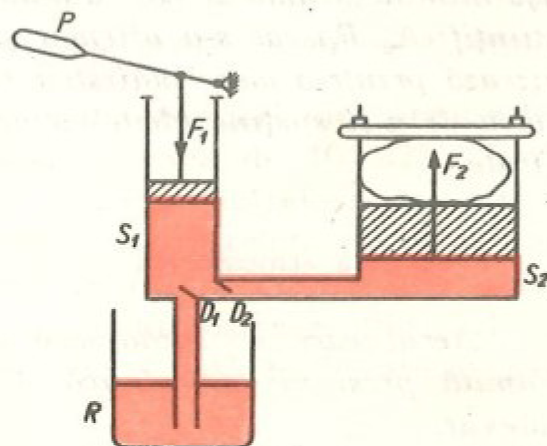


Fig. 2.110. Schema presei hidraulice.

Prin urmare, de cîte ori este mai mare aria S_2 decît aria S_1, de atîtea ori este mai mare forța F_2 decît forța F_1. Forța F_2 poate ridica un corp greu sau poate comprima anumite materiale. La ridicarea pistonului mic lichidul aflat în rezervorul R pătrunde în cilindrul mic prin supapa D_1 (D_2 se închide); la coborîrea pistonului mic, D_1 se închide și lichidul este împins prin supapa D_2 în cilindrul mare. Cele două supape se închid și se deschid în contratimp.

Lectură

BLAISE PASCAL

(1623—1662)

Ilustru învățat francez, Blaise Pascal a adus contribuții valoroase în matematică, fizică, tehnică. La o vîrstă fragedă, la 12 ani, redescoperă singur primele teoreme ale geometriei lui Euclid, la vîrsta de 16 ani publică o lucrare științifică de bază din domeniul geometriei, iar la 19 ani construiește prima mașină de calcul care putea să facă adunări, înmulțiri, împărțiri și extrageri de rădăcină

pătrată. În fizică, de numele său sînt legate două descoperiri fundamentale din domeniul hidroaerostaticii: legea care îi poartă numele privind transmiterea presiunii printr-un lichid și explicarea științifică a presiunii atmosferice. Ca aplicație la legea pe care a descoperit-o, el construiește presa hidraulică punînd astfel bazele sistemului de transmisie hidraulică a forței, mult folosit în tehnică. El a susținut ideea că la baza studiului fizicii trebuie să stea experimentul și a aplicat el însuși metoda experimentală în lucrările lui. Pe această cale el a demonstrat că presiunea atmosferică se datorește apăsării aerului asupra tuturor corpurilor explicînd totodată de ce pompele nu pot scoate apă de la o adîncime de peste 10,3 m. Pînă atunci se explica ridicarea apei în pompe prin așa-numita „teamă de vid" a naturii, dar această explicație nu avea nici o bază științifică. Pascal s-a afirmat și în alte domenii, iar scrierile lui se caracterizează printr-o mare măiestrie literară, prin sobrietate și concizie, prin capacitatea de a-și susține ideile cu argumente puternice și nu cu afirmații nejustificate.

Presiunea atmosferică

Aerul care ne înconjoară exercită asupra tuturor corpurilor o presiune numită presiune atmosferică. Un experiment simplu ne convinge de acest adevăr.

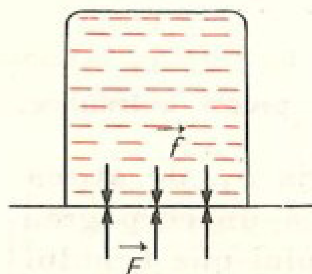


Fig.2.111. Apa dintr-un pahar răsturnat nu curge.

E *Experiment:* Luați un pahar de sticlă pe care îl umpleți complet cu apă și așezați drept capac o foaie de hîrtie velină. Întoarceți paharul cu gura în jos, ținînd capacul cu mîna. Luați apoi mîna lăsînd foaia liberă. Apa nu curge (fig. 2.111). Explicația este următoarea: capacul este supus acțiunii a două forțe, forța f de apăsare de sus în jos determinată de presiunea hidrostatică a coloanei de apă și forța F de apăsare de jos în sus determinată de presiunea atmosferică. Deoarece foaia nu cade, rezultă că există o forță $F > f$ și prin urmare există presiune atmosferică.

Măsurarea presiunii atmosferice se poate face cu ajutorul tubului lui Torricelli (fig. 2.112).

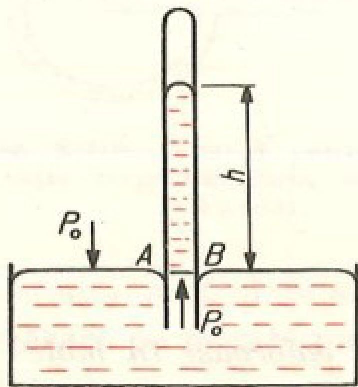


Fig. 2.112. Schema experimentului lui Torricelli.

E *Experiment:* Se ia un tub de sticlă lung de aproximativ 80 cm și se umple cu mercur, apoi se astupă cu degetul și se scufundă într-un vas mai larg cu mercur*. Se constată că mercurul nu coboară în întregime, ci rămîne o coloană de înălțime h, care în mod obișnuit are valoarea $h = 76$ cm.

---

* Mîna trebuie îmbrăcată într-o mănușă de cauciuc sau plastic, deoarece mercurul este toxic.

Să interpretăm rezultatul acestui experiment. Atmosfera apasă asupra mercurului din vasul mai larg cu o presiune p_0. Pentru mercurul din vas aceasta este o presiune exterioară care, conform legii lui Pascal, se transmite integral, în toată masa mercurului și în toate direcțiile. Prin urmare, ea se va transmite și în tub astfel că, la nivelul AB din tub, același cu nivelul mercurului din vas, presiunea atmosferică p_0 se transmite de jos în sus. Această presiune este echilibrată de presiunea hidrostatică a coloanei de mercur din tub, coloană de înălțime h. Deci: presiunea hidrostatică a coloanei de mercur din tubul lui Torricelli este egală cu presiunea atmosferică $p_0 = h\rho g$. Înlocuind cu valorile numerice: $h = 0{,}76$ m, $\rho_{Hg} = 13\,600 \frac{kg}{m^3}$, $g = 9{,}8 \frac{m}{s^2}$ obținem $p_0 = 101\,292{,}8 \frac{N}{m^2}$. Această valoare se numește „atmosfera normală" și se notează 1 atm. Pe baza unor determinări mai precise s-a stabilit pentru presiunea atmosferică normală valoarea de 101 325 N/m^2.

Presiunea atmosferică se măsoară cu ajutorul barometrelor, care pot fi cu mercur sau metalice. Barometrele cu mercur sînt construite pe principiul tubului lui Torricelli. Barometrele metalice se bazează pe deformarea uneia sau a mai multor cutii metalice sub acțiunea presiunii atmosferice (fig. 2.113).

Măsurînd presiunea atmosferică în același loc o dată în fiecare zi sau chiar de cîteva ori pe zi, vom constata că ea prezintă unele variații în jurul valorii normale. Aceste variații sînt legate de starea atmosferei.

Dacă se fac măsurători ale presiunii, atmosferice la diferite înălțimi în același moment (urcînd, de exemplu, un munte), se constată că presiunea atmosferică scade cu cît înălțimea este mai mare.

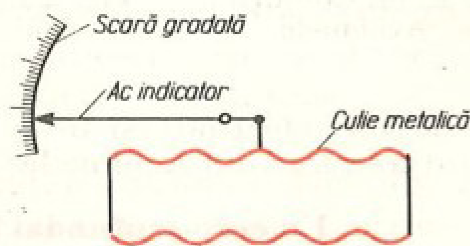


Fig. 2.113. Barometrul metalic.

2.5. Echilibrul corpului scufundat în fluid

Legea lui Arhimede

Un dop de plută lăsat liber în aer cade. Așezat pe apă, plutește. De ce?

E *Experiment:* Suspendați un cilindru metalic de cîrligul unui dinamometru și aflați greutatea corpului. Scufundați corpul în apă și observați indicația dinamometrului. Dinamometrul indică o forță mai mică decît greutatea corpului. Această observație ne permite să afirmăm că asupra corpului scufundat se exercită o forță de împingere de jos în sus Dar cît de mare este această forță?

Experiment: Vom folosi o balanță și doi cilindri de metal: un cilindru masiv (plin), C_1, care poate intra în întregime și exact într-un cilindru gol C_2 (fig. 2.114). Legăm cilindrii unul de altul și pe amîndoi de un taler al balanței pe care o echilibrăm (fig. 2.115). Scufundăm cilindrul C_1 într-un pahar cu apă. Balanța se dezechilibrează (fig. 2.116). Umplem cu apă cilindrul C_2. Vom observa că echilibrul balanței se restabilește. Prin urmare greutatea apei din cilindrul C_2 este egală cu forța de împingere de jos în sus care acționează asupra cilindrului C_1 (pe care a reușit s-o „învingă", anulînd efectul ei). Dar volumul cilindrului C_2 este egal cu volumul cilindrului C_1 și deci este egal cu volumul de apă dezlocuit de cilindrul scufundat C_1. Prin scufundarea cilindrului C_1 în orice lichid și umplîndu-l pe C_2 cu lichid de același fel se obține reechilibrarea balanței.

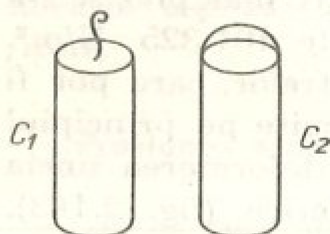


Fig. 2.114. Cilindrii lui Arhimede.

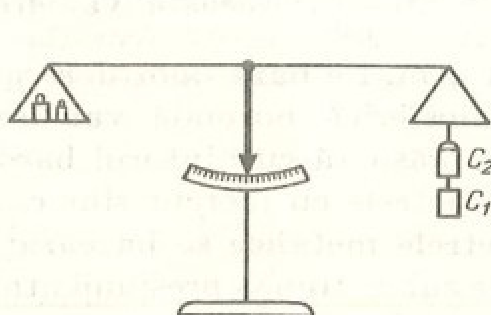


Fig. 2.115. Balanță cu cilindrii lui Arhimede în echilibru.

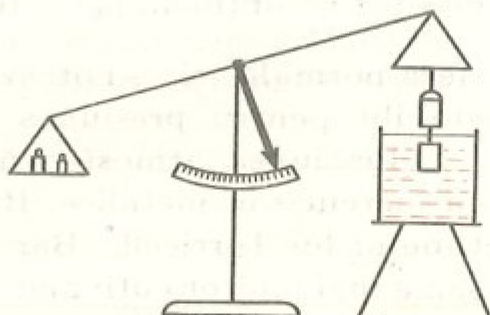


Fig. 2.116. Balanța dezechilibrată datorită forței arhimedice.

Măsurători efectuate și în cazul corpurilor scufundate în gaze ne conduc la enunțarea legii lui Arhimede:

Un corp scufundat într-un lichid sau într-un gaz este împins de jos în sus cu o forță egală numeric cu greutatea volumului de lichid sau gaz dezlocuit de acel corp.

Forța de împingere de jos în sus, ce acționează asupra unui corp scufundat. se numește *forță arhimedică*.

E

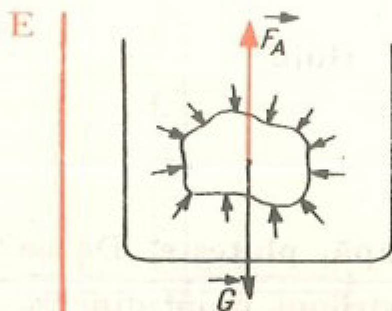


Fig. 2.117. Forțe de apăsare exercitate asupra unei părți de lichid aflat în echilibru într-un lichid.

Se poate da o explicație a legii lui Arhimede bazată pe echilibrul mecanic al corpurilor. Fie un vas care conține un lichid în echilibru. Considerăm o porțiune din lichid (fig. 2.117). Această porțiune are o anumită greutate $\vec{G}$. Deoarece această porțiune de lichid se află în echilibru, rezultă că asupra ei mai acționează și o altă forță egală și de sens contrar cu greutatea $\vec{G}$. Această forță este tocmai forța arhimedică și este determinată de forțele de apăsare produse de presiunea hidrostatică. Dacă în locul porțiunii de lichid considerate introducem un corp de aceeași formă și de același volum, forța arhimedică va avea aceeași valoare. Prin urmare, forța arhimedică este egală cu greutatea lichidului dezlocuit de acel corp.

Aplicații ale legii lui Arhimede

Fie un corp scufundat în întregime într-un lichid, $\vec{G}$ greutatea lui și $\vec{F}_A$ forța arhimedică. Dacă $G > F_A$, corpul se scufundă. Dacă $G = F_A$, corpul stă în echilibru la orice adîncime în lichid. Dacă $G < F_A$, corpul urcă la suprafață și rămîne în echilibru fiind parțial scufundat.



Fig. 2.118. Navă maritimă românească. Se observă linia de plutire.

Porțiunea scufundată dezlocuiește o cantitate de lichid a cărei greutate este egală cu greutatea corpului. În acest fel greutatea corpului și forța arhimedică ce acționează asupra porțiunii scufundate se echilibrează și corpul plutește.

Plutirea vapoarelor (fig. 2.118), ca și posibilitățile submarinelor (fig. 2.119) de a pluti sau de a se scufunda sub nivelul apei, sînt aplicații practice de o mare importanță ale legii lui Arhimede.

Aerostatele se pot ridica în aer tot pe baza forței arhimedice. Balonul aerostatului este umplut cu un gaz mai puțin dens decît aerul, astfel încît forța arhimedică să fie mai mare sau egală cu greutatea balonului și a încărcăturii.

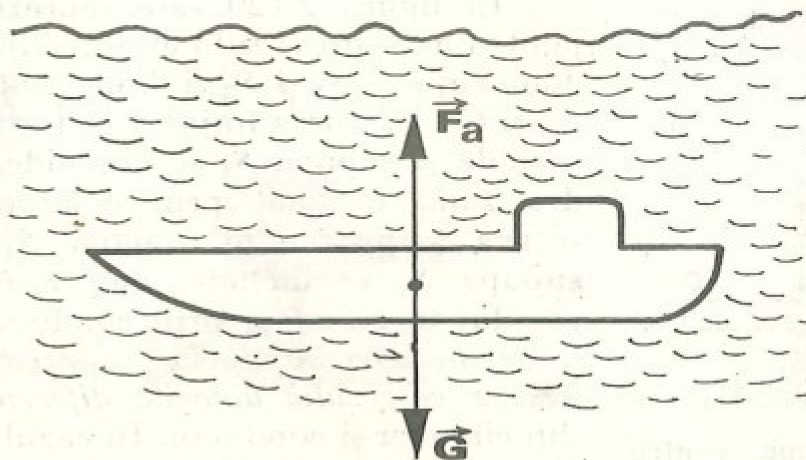


Fig. 2.119. Submarin.

O aplicație practică de laborator a legii lui Arhimede este determinarea densității ρ a unui corp solid omogen cu ajutorul balanței. Fie un corp oarecare pe care îl cîntărim în aer cu o balanță cu brațe egale și fie m masa corpului. Legăm corpul cu un fir de ață și îl scufundăm într-un lichid cu densitatea ρ_l cunoscută, de exemplu apă. Cîntărind din nou corpul scufundat, el va fi echilibrat cu un corp de masă $m' < m$. Diferența greutăților corespunzătoare celor două mase reprezintă tocmai forța de împingere de jos în sus, adică forța arhimedică:

$$mg - m'g = F_A. \quad \text{Dar} \quad F_A = V\rho_l g = \frac{m}{\rho}\rho_l \cdot g \Longrightarrow mg - m'g = \frac{m}{\rho}\cdot \rho_l g \Longrightarrow$$

$$\Longrightarrow \rho = \frac{m\rho_l}{m - m'}.$$

2.6. Pompe pentru gaze și lichide

În multe cazuri este necesar să producem un transfer de substanță lichidă sau gazoasă dintr-un recipient în alt recipient sau în exterior. Dispozitivul cu care realizăm un asemenea transfer se numește pompă. Astfel, în cazul gazelor, distingem:

a) pompe de vid care evacuează gazul dintr-un recipient;
b) pompe de compresie care introduc un gaz sub presiune într-un recipient.

În cazul lichidelor vom distinge:

a) pompe aspiratoare care extrag lichidul dintr-un vas și îl elimină în exterior;
b) pompe aspiro-respingătoare care extrag lichidul dintr-un recipient sau dintr-un bazin și îl împing printr-o conductă la o anumită distanță sau la o înălțime mai mare decît înălțimea la care se găsește pompa.

Ne propunem să explicăm funcționarea cîtorva pompe de construcție simplă desenate în figurile alăturate.

Pompe pentru gaze

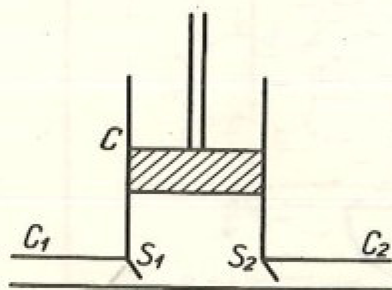


Fig 2.120. Pompă pentru gaze.

În figura 2.120 este reprezentată o pompă pentru gaze prevăzută cu un cilindru cu piston, C, două supape S_1 și S_2 și două conducte de legătură C_1 și C_2. La cursa în jos a pistonului supapa S_1 se închide și supapa S_2 se deschide, gazul din cilindru fiind evacuat prin conducta C_2. La cursa în sus a pistonului supapa S_1 se deschide și supapa S_2 se închide, determinînd pătrunderea gazului în cilindru, prin conducta C_1. *Închiderea și deschiderea supapelor se produce sub acțiunea forțelor ce rezultă datorită diferențelor de presiune* din cilindru și conducte. În cazul în care conducta C_1 este pusă în legătură cu atmosfera iar con-

ducta C_2 cu un recipient, pompa comprimă aerul în recipient și deci funcționează ca pompă de compresie. Dacă la conducta C_1 se atașează un recipient cu aer sau cu alt gaz iar conducta C_2 este pusă în legătură cu atmosfera atunci pompa scoate aerul din recipient și îl elimină în exterior. Ea funcționează în acest caz ca pompă de vid.

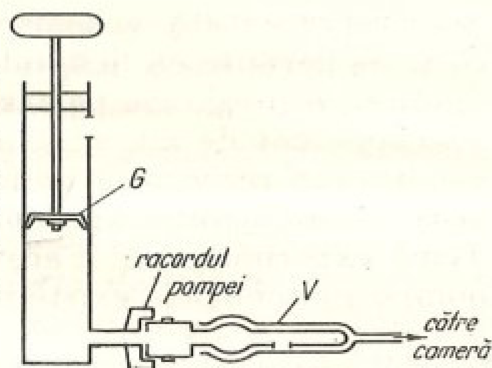


Fig. 2.121. Pompa de bicicletă.

În figura 2.121 este reprezentată pompa de bicicletă care este o pompă de compresie. Rolul supapelor îl joacă în acest caz garnitura elastică G a pistonului și ventilul de cauciuc V. La cursa de jos în sus a pistonului, în compartimentul inferior se creează o depresiune în timp ce în compartimentul superior, pus în legătură cu atmosfera, se menține presiunea constantă egală cu presiunea atmosferică. Datorită diferenței de presiune garnitura se deformează și aerul pătrunde în compartimentul inferior. La cursa în jos a pistonului, aerul comprimat învinge rezistența opusă de ventilul de cauciuc și pătrunde în camera de bicicletă.

Pompe pentru lichide

Comprimați o pară de cauciuc și introduceți capătul ei în apă. Eliberînd para vom observa că apa pătrunde în para de cauciuc fiind împinsă de presiunea atmosferică. Acest experiment simplu vă permite să înțelegeți funcționarea pompelor pentru lichide.

Pompa aspiratoare, reprezentată în figura 2.122, este prevăzută cu două supape: supapa S_1 de la partea inferioară a cilindrului și supapa S_2 montată în piston. La cursa în sus a pistonului supapa S_1 se deschide și lichidul pătrunde în cilindru fiind împins de presiunea atmosferică p_0. Totodată lichidul de deasupra pistonului este împins și evacuat prin conducta D. La cursa în jos a pistonului supapa S_2 se deschide, iar supapa S_1 este închisă și permite lichidului să treacă din compartimentul inferior în cel superior. În figura 2.123

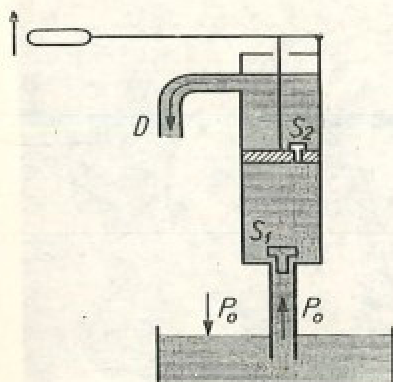


Fig. 2.122. Pompă aspiratoare.

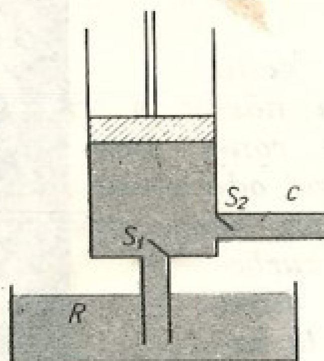
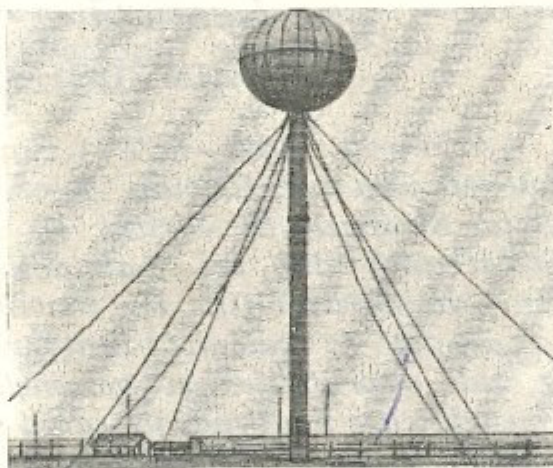


Fig. 2.123. Pompă aspiro-respingătoare.


Fig. 2.124. Din castelul de apă se aprovizionează cu apă instalațiile unei ferme.

este reprezentată schema pompei aspiro-respingătoare. Poziția supapelor S_1 și S_2 permite ca lichidul aspirat din rezervorul R să fie împins prin conducta C la presiunea pe care o poate exercita pistonul. Dacă această presiune este suficient de mare, lichidul va putea fi ridicat la o înălțime mare ca de exemplu în rezervorul unui castel de apă (fig. 2.124) de unde prin conducte (vase comunicante) apa curge cu presiune în diferite instalații.

Temă experimentală: Faceți aplicații practice de punere în funcțiune a unor pompe pe modelele existente în laboratorul de fizică.

Rezumat

Presiunea exercitată de forța F pe o suprafață de arie S este $p = \frac{F}{S}$; $[p]_{SI} = \frac{1\ N}{1\ m^2} = 1$ Pa (pascal).

În interiorul unui lichid (datorită greutății straturilor superioare de lichid) există o presiune numită presiune hidrostatică. Presiunea hidrostatică la o anumită adîncime se exercită în mod egal în toate direcțiile, este cu atît mai mare cu cît densitatea lichidului este mai mare și nu depinde de aria secțiunii vasului. Presiunea hidrostatică crește proporțional cu adîncimea. Ea are expresia $p = h\rho g$.

Presiunea exterioară exercitată asupra unui lichid se transmite integral în toată masa lichidului și în toate direcțiile (legea lui Pascal).

Presiunea exercitată de greutatea aerului atmosferic se numește presiune atmosferică. Ea se exercită în mod egal în toate direcțiile, prezintă în același loc mici variații ce depind de starea fizică a atmosferei și scade cu înălțimea. 1 atmosferă normală = 101 325 N/m².

Un corp scufundat într-un lichid sau într-un gaz este împins de jos în sus cu o forță egală cu greutatea lichidului sau gazului dezlocuit de acel corp (legea lui Arhimede).

Lectură

ARHIMEDE



Arhimede (287—212 î. e. n.), *vestit matematician și fizician grec, s-a născut la Siracuza în Sicilia și este considerat unul din cei mai de seamă oameni ai antichității. În matematică el s-a ocupat de calculul lungimii curbelor, al suprafețelor și volumelor după o metodă care mult mai tîrziu va sta la baza altor descoperiri fundamentale din matematică. În fizică a stabilit legile pîrghiilor și a descoperit legea care îi poartă*

numele privind forța de împingere de jos în sus exercitată asupra corpurilor scufundate în lichide și gaze. Se spune că această lege a fost descoperită în următoarele împrejurări: regele Siracuzei, Hieron, i-a cerut unui meșter să-i facă o coroană de aur. După ce meșterul a adus coroana, regele l-a chemat pe Arhimede și i-a cerut să stabilească, fără să distrugă coroana, dacă este făcută în întregime din aur sau are cumva și aramă. Arhimede s-a gîndit multă vreme și, odată, pe cînd se afla în baie, a descoperit legea privind forța de împingere de jos în sus a corpurilor scufundate și, o dată cu aceasta, și mijlocul de a-i răspunde regelui la întrebarea pe care i-o pusese. El a rostit atunci expresia rămasă celebră: „Eureka" ! (am găsit). Arhimede a făcut numeroase invenții: mașini pentru irigarea cîmpurilor, sisteme de pîrghii și scripeți pentru ridicarea corpurilor, mașini de aruncat etc. Unele din invențiile sale ca șurubul fără sfîrșit, scripetele mobil, roțile dințate se folosesc astăzi pe scară largă în tehnică.

Întrebări, exerciții, probleme

1. Pe vîrful unui munte presiunea este de 80 000 Pa. Care este valoarea acestei presiuni exprimată în atm?

   R: 0,79 atm.

2. Faceți măsurătorile necesare și calculați presiunea pe care o exercită o cărămidă așezată pe o suprafață orizontală pe fiecare din fețele ei.

3. Vi se cere să calculați ce presiune exercitați pe dușumea atunci cînd stați în picioare. Ce trebuie să măsurați? Ce valoare ați găsit? Ce fracțiune reprezintă presiunea găsită din presiunea atmosferică?

4. În multe cazuri, pentru a asigura alimentarea cu apă, se folosește o instalație proprie al cărei element principal este „castelul de apă". Acest castel este umplut cu apă cu ajutorul unor pompe și apoi el asigură presiunea necesară pentru ca apa să poată urca la diferite înălțimi. Care este presiunea hidrostatică a apei la baza unui castel de apă înalt de 18 m?

   R: 176 400 Pa.

5. Presiunea hidrostatică la un anumit nivel depinde de forma vasului? Răspundeți la această întrebare pe baza unui experiment conceput de voi.

6. Apa țîșnește printr-o deschidere cu atît mai mult cu cît presiunea ei este mai mare. Cum va țîșni apa prin deschiderile laterale practicate în peretele unei cutii plină cu apă, dacă cele trei deschideri se destupă simultan? Efectuați experimentul (fig. 2.125).



Fig. 2.125. Cilindru cu deschideri laterale.

7. La ce adîncime în apă presiunea hidrostatică este de 1 atm?

R: 10,33 m.

8. Ce presiune hidrostatică exercită o coloană de mercur cu înălțimea de 1 mm? $\rho_{Hg} = 13\,600$ kg/m³. (Această presiune se numește 1 Torr.)

9. Explicați funcționarea frînei hidraulice reprezentată în figura 2.109.

10. Pe pistonul mic al unei prese hidraulice se aplică o forță de 200 N. Ce forță se exercită pe pistonul mare dacă ariile pistoanelor sînt de 4 cm² și respectiv 20 cm²?

R: 1 000 N.

11. Diametrele pistoanelor unei prese hidraulice sînt 1 cm și 8 cm. De cîte ori se amplifică forța cu o asemenea presă?

R: De 64 ori.

12. La presa hidraulică din problema precedentă se aplică pe pistonul mic o forță $F_1 = 250$ N. Acest piston are o cursă de 16 cm. Ce forță se transmite la pistonul mare? Cît este cursa pistonului mare? Care este lucrul mecanic efectuat de forța aplicată pe pistonul mic la o singură cursă? Cît este lucrul mecanic efectuat de forța aplicată pistonului mare la o singură cursă? Ce observați?

R: 16 000 N; 0,25 cm; 40 J; 40 J.

13. Ce presiune totală suportă un pește care înoată la adîncimea de 3 m ($\rho = 1\,000$ kg/m³)?

R: 130 693 Pa.

14. Dacă nu dispuneți de cilindrii lui Arhimede, imaginați un alt procedeu experimental de verificare a legii lui Arhimede.

15. Balanța din figura 2.126 este echilibrată în aer. Introducem balanța sub clopotul unei mașini pneumatice. În ce sens se va dezechilibra balanța după scoaterea aerului de sub clopot?

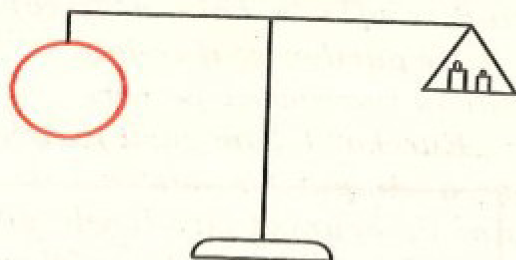


Fig. 2.126. Balanță cu balon de sticlă, în echilibru.

16. Un vapor trece din Dunăre în Marea Neagră. Se mai scufundă puțin sau iese la suprafață? (Densitatea apei de mare este puțin mai mare decît densitatea apei de Dunăre).

17. O grindă de lemn cu densitatea de 800 kg/m³ este scufundată în întregime în apă. Cît este forța arhimedică? Dar forța rezultantă ce acționează asupra grinzii? Volumul grinzii este de 0,4 m³.

R: 3 920 N; 784 N.

18. Grinda din problema precedentă este lăsată liberă. Ce fracțiune din volumul ei se scufundă și ce fracțiune rămîne în afară?

R: 0,8; 0,2.

19. Imaginați o metodă și determinați densitatea unui corp metalic cu ajutorul balanței.

20. Un corp cîntărește în aer 100 g iar scufundat în apă cîntărește 87,2 g. Care este densitatea corpului? Din ce metal este făcut acel corp?

R: 7 800 kg/m³.

21. Introduceți cîteva cuie într-o eprubetă astfel încît aceasta să rămînă parțial scufundată, în poziție verticală. Înfășurați apoi cîteva spire de sîrmă peste eprubetă și mutați pe rînd sîrma în mai multe poziții: în partea de jos, la mijloc, sus. Clătinați în fiecare caz eprubeta. În care caz legănarea eprubetei (tangajul) este mai mică? Trageți de aici o concluzie privind modul în care trebuie încărcat cu marfă un vapor: marfa trebuie depozitată sus (pe punte) sau cît mai jos (în cală)?

22. În figura 2.127 este reprezentată schema unei pompe de benzină folosită la automobile. De ce este necesară această pompă la automobile dar nu este necesară la motociclete? Ce rol are membrana elastică *M*?

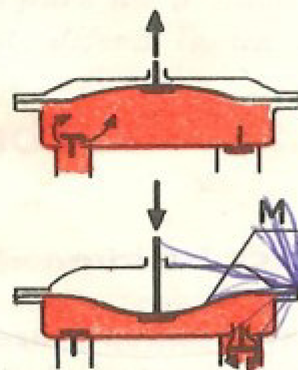


Fig. 2.127.
Pompa de benzină.

Capitolul 3

Echilibrul termic. Temperatura

Starea de încălzire

Referindu-ne la starea de încălzire a unui corp facem următoarea afirmaţie: „corpul este cald“ sau „corpul este rece“.

Pentru a se determina starea de încălzire a unui corp se foloseşte un aparat denumit termoscop sau termometru fără diviziuni (vezi fig. 3.1). Termoscopul se compune dintr-un balon de sticlă care are un tub de sticlă foarte subţire numit şi tub capilar. Capilarul acesta este închis la capătul superior. În balon şi pe o porţiune de tub este introdus un lichid, de obicei alcool sau mercur. Să considerăm că avem acest termoscop în faţă şi să urmărim starea de încălzire a unui corp.

E | *Experiment:* Luaţi un termoscop şi introduceţi-l într-un vas cu apă rece şi după circa 2—3 minute însemnaţi cu A pe tub nivelul la care s-a stabilizat alcoolul. Scoateţi termoscopul şi introduceţi-l într-un alt vas cu apă călduţă. După cîtva timp însemnaţi cu B din nou nivelul stabilizat al alcoolului din tub. Veţi observa că nivelul este diferit faţă de primul caz. Introduceţi acum termoscopul într-un vas cu apă caldă. Nivelul alcoolului din tub se va ridica peste cîteva minute pînă la un anumit punct pe care-l notăm cu C (fig. 3.2.). Se observă că nivelul din tub

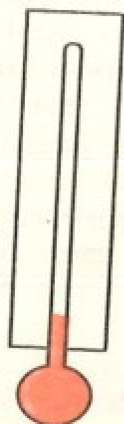


Fig. 3.1. Termoscop.

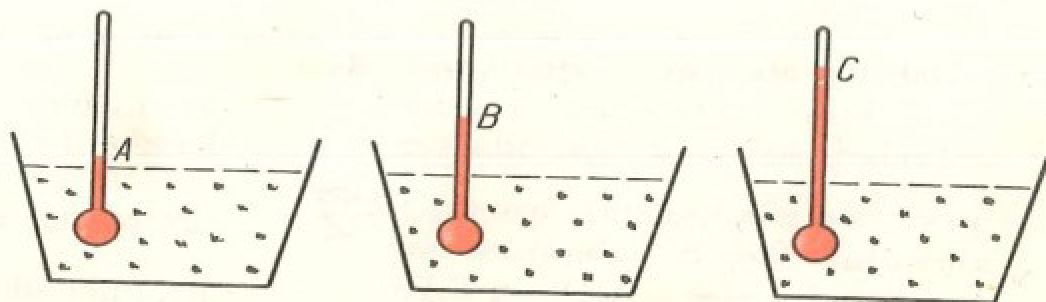


Fig. 3.2. Nivelul mercurului termoscopului este diferit în cele trei vase cu apă încălzită diferit.

este diferit în cele trei vase cu apă. Nivelul cel mai scăzut este înregistrat la vasul cu apă rece și cel mai ridicat la vasul cu apă caldă.

Termoscopul ne dă informații despre starea de încălzire a corpurilor. Tot cu ajutorul său putem compara starea de încălzire a două corpuri. Putem spune că două corpuri au aceeași stare de încălzire dacă nivelul alcoolului din tub este același pentru ambele corpuri. *Două corpuri au o stare de încălzire diferită dacă nivelul alcoolului din tubul capilar este diferit la un corp față de celălalt corp*, așa cum am văzut în experimentul de mai sus.

Contactul termic. Echilibrul termic

Ne propunem acum să analizăm cum interacționează două sau mai multe corpuri cu stări de încălzire diferite. Pentru aceasta trebuie să stabilim o legătură directă între corpuri, să asigurăm între ele un contact termic.

E *Experiment:* Puneți un pahar din sticlă subțire, umplut cu apă rece, într-un vas cu apă fierbinte. Introduceți în fiecare vas cîte un termoscop (cu alcool, fig. 3.3). Așteptați un timp scurt, după care urmăriți nivelul alcoolului în cele două instrumente.

Se constată la început că nivelul alcoolului este diferit în cele două vase, ceea ce înseamnă că acestea au stări de încălzire diferite (fig. 3.3, *a*). Urmărind în timp nivelul alcoolului se constată că nivelul crește în termoscopul pus în vasul rece și scade în termoscopul din vasul cu apă caldă. Spunem că aceste două corpuri interacționează termic.

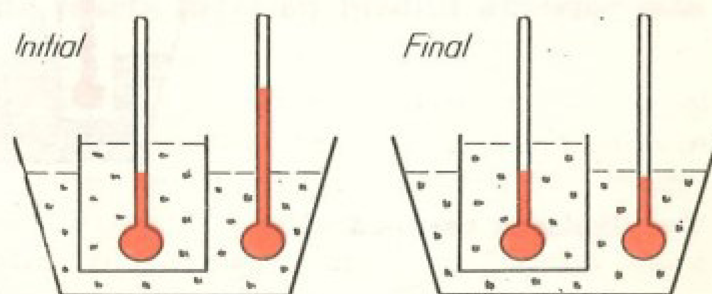


Fig. 3.3. Echilibrul termic. *a)* Nivelul alcoolului în cele două termoscoape este diferit (la început). *b)* Nivelul alcoolului este același (în final).

Două corpuri cu stări de încălzire diferite sînt în **contact termic** *dacă, atunci cînd se află în contact unul cu celălalt, își modifică starea de încălzire, fără a se fi efectuat lucru mecanic.*

Din experiment rezultă că, după un anumit interval de timp, nivelul alcoolului este același pentru cele două vase. Deci corpurile au în final aceeași stare de încălzire (fig. 3.3, *b*). Repetînd experiența și cu alte corpuri, se ajunge la aceeași concluzie:

Două corpuri, care au stări de încălzire diferite și sînt puse în contact termic, adică interacționează termic, ajung după un anumit timp să aibă aceeași stare de încălzire. Vom spune că între cele două corpuri s-a realizat **echilibrul termic.**

Timpul necesar stabilirii echilibrului termic depinde de materialul din care este făcut peretele ce desparte cele două corpuri; în cazul nostru, timpul acesta depinde de materialul din care este confecționat vasul în care se află apa rece.

E *Experiment:* Introduceți un pahar de sticlă subțire, care conține apă caldă (corpul II), într-un vas foarte mare care conține apă rece (corpul I). Cantitatea de apă rece să fie de 5—6 ori mai mare decît cea de apă caldă (fig. 3.4). Se măsoară stările de încălzire la începutul experimentului și starea de încălzire corespunzătoare echilibrului termic. Observăm că starea de încălzire a apei reci a rămas practic aceeași (nivelul alcoolului din termoscop rămîne același ca la început). Se modifică starea de încălzire a apei calde. Dacă un corp I (apa rece) are masa mult mai mare decît un alt corp II (apa caldă), la contactul termic dintre ele, corpul II ajunge la aceeași stare de încălzire cu cea a corpului I. Corpul I își menține starea de încălzire practic constantă la contactul termic cu corpul II; spunem că *I* este *termostat* pentru *II*. Corpul II își modifică starea de încălzire la contactul termic cu I. Spunem că *II* este *termometru* pentru *I*. De exemplu, pentru un corp scos dintr-o încăpere încălzită în aerul de afară, aerul este un termostat iar corpul are rolul unui termometru.

Astfel, în unele cazuri de interes practic, stabilirea echilibrului termic dintre două corpuri nu afectează starea de încălzire a unuia dintre cele două corpuri, dacă masa unui corp este mult mai mare decît a celuilalt corp.

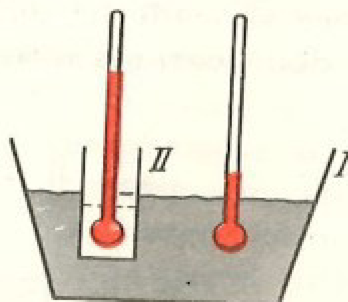


Fig. 3.4. Apa din vasul mare se comportă ca un termostat.

Izolarea termică

Să urmărim în continuare dependența timpului necesar atingerii echilibrului termic de natura suprafeței care desparte două corpuri aflate în contact termic. Pentru aceasta efectuăm experimentul următor:

E *Experiment:* Turnați din același vas cantități egale de apă caldă în trei pahare de aceeași formă și mărime, dar din materiale diferite: sticlă, aluminiu, material plastic. Turnați aceeași cantitate de apă caldă într-un termos. Introduceți în fiecare vas cîte un termoscop și măsurați stările de încălzire ale corpurilor la diferite momente (fig. 3.5).

În cadrul experimentului aceste patru vase au fost puse în contact termic cu același corp: aerul înconjurător și suprafața de sprijin (masa). Aceste corpuri alcătuiesc pentru apa din pahar mediul exterior sau corpul cu care apa se află în contact termic.

Interacţiunea dintre apa caldă şi mediul exterior duce la realizarea echilibrului termic dintre apă şi mediul exterior. În cadrul experimentului efectuat, între apa caldă şi mediul exterior au existat pereţi din materiale diferite. Experimental se constată că echilibrul termic se atinge într-un in-

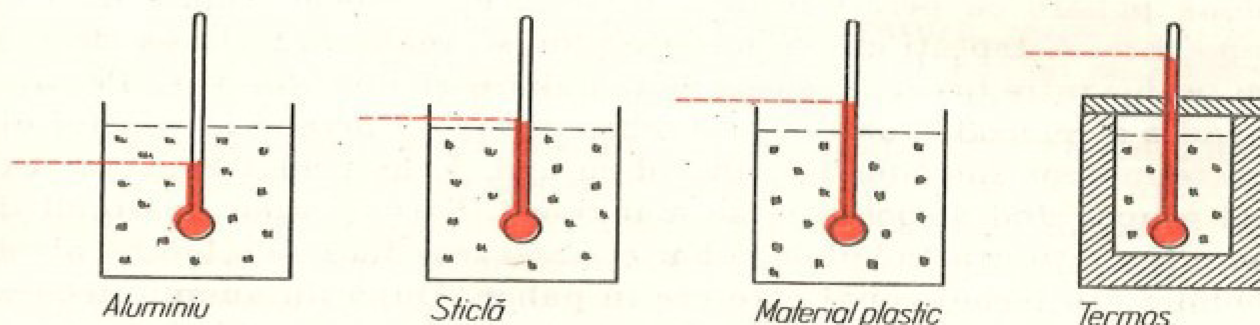


Fig. 3.5. Apa din paharul de aluminiu se răceşte mai repede decît apa din celelalte vase.

terval de timp mai scurt pentru apa caldă din paharul de aluminiu, echilibrul termic se realizează apoi în paharul de sticlă şi după aceea în paharul de material plastic. Apa din termos realizează echilibrul termic cu mediul exterior numai peste cîteva ore.

Concluzie: Există materiale care permit stabilirea rapidă a echilibrului termic, cum ar fi de exemplu metalele. Ele se numesc *corpuri bune conducătoare de căldură* sau *termoconductoare*. Altele, cum ar fi sticla, masele plastice, permit cu greu stabilirea echilibrului termic între corpurile care le separă. Ele se numesc corpuri *rău conducătoare de căldură* sau *izolatoare termice*.

Un corp care interacţionează termic foarte încet cu mediul exterior este numit corp izolator termic.

Practic, nu putem împiedica interacţiunea termică dintre un corp şi mediu. Avem însă posibilitatea să încetinim această interacţiune, dacă punem între corp şi mediu un strat de materiale cum ar fi: vată minerală sau vegetală, carton, materiale plastice, diferite fibre sau ţesături. Aceste materiale se numesc termoizolante. Se poate realiza o izolare termică mai bună dacă se utilizează materialele poroase (care conţin aer în structura lor).

Asemenea materiale se utilizează, de exemplu, pentru izolarea conductelor, instalaţiilor de încălzire, sau pentru izolarea termică a locuinţelor.

Să ne imaginăm un termos, care, într-un timp nelimitat, o săptămînă, o lună, un an etc., nu permite realizarea echilibrului termic dintre corpul închis în el şi aerul din afară. Presupunem că un astfel de termos ar fi un izolant perfect (ceea ce practic este imposibil). Vom numi „peretele" acesta ideal *perete adiabatic.*

Izolarea unui corp sau a unui sistem de corpuri prin pereţi adiabatici o vom numi izolare adiabatică.

În laborator o bună izolare termică se asigură cu ajutorul unui aparat numit calorimetru. Dar despre construcţia acestui aparat vom discuta puţin mai tîrziu.

Tranzitivitatea echilibrului termic

E *Experiment:* Într-un vas mare cu pereţi groşi de sticlă sau din material plastic puneţi apă rece. Turnaţi apă caldă, cu stări de încălzire diferite, în două pahare cu pereţi subţiri. Introduceţi ambele pahare în vasul cu apă rece. Aşteptaţi cîteva minute pînă se realizează starea de echilibru termic între fiecare din cele două pahare şi apa din vas. Pentru a şti cînd s-a realizat starea de echilibru urmăriţi nivelul alcoolului dintr-un termoscop introdus în paharul cu apă. Echilibrul termic se realizează atunci cînd alcoolul nu se mai ridică. Turnaţi apoi într-unul din pahare şi conţinutul celuilalt pahar şi observaţi dacă se schimbă nivelul alcoolului din termoscopul care era în pahar. După un anumit interval de timp, întrucît cele două pahare au fost în contact termic cu apa din vas, s-a realizat echilibrul termic între fiecare din aceste pahare şi apa din vas.

Dacă un corp A se află în echilibru termic cu două corpuri B şi C, atunci şi corpurile B şi C se află în aceeaşi stare de echilibru termic. Această proprietate a stărilor de echilibru se numeşte **proprietate de tranzitivitate.**

Temperatura

Temperatura este o mărime fundamentală în fizică.

La contactul a două corpuri cu stări de încălzire diferite, după un anumit timp, corpurile vor avea aceeaşi stare de încălzire, pusă în evidenţă prin nivelul alcoolului din termoscop.

Pe baza tranzitivităţii echilibrului termic, aceste valori ale temperaturii corespund tuturor corpurilor care se găsesc în aceeaşi stare de încălzire şi care ridică alcoolul pînă la un nivel dat.

Temperatura este mărimea care descrie starea de echilibru termic a corpurilor. Valorile acestei mărimi sînt numere pe care le asociem stărilor de încălzire caracterizate de înălţimea coloanei de alcool din termoscop.

Temperatura este o mărime fizică de stare, ce caracterizează starea de încălzire a unui corp.

Faptul că temperatura este o mărime de stare este ilustrat de următorul exemplu: În cada de baie se află apă rece şi două termoscoape puse în două puncte diferite. Dăm drumul la apă caldă în dreptul unuia din termoscoape. Urmărim nivelul alcoolului în termoscoape. Dacă dorim să determinăm imediat temperatura amestecului apă caldă — apă rece, vom constata că indicaţiile celor două termoscoape sînt diferite. Nu putem vorbi deci de temperatura apei decît atunci cînd amestecul s-a făcut bine şi s-a realizat echilibrul termic între diferite părţi ale apei. Cînd acest lucru s-a realizat, cele două termoscoape

indică aceeaşi valoare, şi anume temperatura care corespunde stării de echilibru termic. Are sens să vorbim de temperatura unui corp numai atunci cînd corpul (sistemul de mai multe corpuri) este în stare de echilibru; pentru că temperatura descrie *o stare* a unui corp, spunem că ea este o *mărime fizică de stare*.

Pe baza definiţiei date mai sus pentru temperatură, rezultă că, pentru a exprima în mod cantitativ temperatura, trebuie să ne bazăm pe proprietăţile corpurilor care se modifică o dată cu gradul de încălzire al acestora. Temperatura trebuie legată de o mărime care să aibă aceeaşi valoare în condiţii de echilibru termic pentru două sau mai multe corpuri puse în contact termic. Un exemplu simplu al unei astfel de mărimi fizice este lungimea coloanei de alcool din termoscop. Diferitelor stări de încălzire le corespund lungimi diferite ale coloanei de alcool.

Termometru. Scări de temperatură

Pentru a măsura temperatura unui corp se foloseşte un alt corp care este adus în contact termic cu primul şi care se numeşte termometru*. După stabilirea echilibrului termic temperatura corpului este egală cu temperatura termometrului. Pînă acum am determinat starea de încălzire cu termoscopul, făcînd să corespundă diferitelor stări de încălzire diferite nivele ale alcoolului din termoscop. Dacă stabilim o legătură între nivelul alcoolului şi temperatura corpului, atunci am etalonat termoscopul şi acesta devine termometru. Pentru a înţelege mai bine construcţia unui termometru, să luăm un exemplu concret: în cazul termometrului cu alcool, între lungimea coloanei de alcool şi temperatură există o relaţie bine determinată. Creşterea lungimii coloanei de alcool presupune o creştere a temperaturii cu o valoare bine determinată, indiferent de la ce temperatură s-a pornit.

A stabili o dependenţă între temperatura termometrului şi valoarea înălţimii coloanei de alcool la acea temperatură înseamnă a stabili o scară de măsurat temperatura denumită pe scurt scară de temperatură.

Una dintre cele mai folosite scări de temperatură este scara Celsius, denumită astfel după numele inventatorului care a construit un termometru gradat sau etalonat în această scară. Celsius a ales ca interval de temperatură pe cel cuprins între temperatura la care se topeşte gheaţa (0 grade C) şi cea la care fierbe apa în condiţii normale de presiune (100°C).

Vă prezentăm mai jos modul în care se etalonează un termometru în scara Celsius.

Se introduce termometrul într-un vas cu gheaţă care se topeşte. Nivelul mercurului termometrului scade şi rămîne constant în timp ce se topeşte toată gheaţa. Acest nivel se marchează cu cifra zero (fig. 3.6, *a*). Se introduce apoi termometrul în vaporii formaţi la suprafaţa apei dintr-un vas în care fierbe apa. Mercurul se dilată şi urcă în tub pînă la un anumit nivel la care rămîne mereu

* Descrierea termometrului se găseşte în manualul de Fizică pentru clasa a VI-a.

cît timp fierbe apa. Se notează acest punct cu numărul 100 (fig. 3.6, *b*). Intervalului de temperatură cuprins între 0 şi 100 îi corespunde o anumită lungime a coloanei de mercur. Dacă împărţim această lungime în 100 de părţi egale, obţinem 100 de unităţi de lungime ale coloanei de mercur cărora le corespund

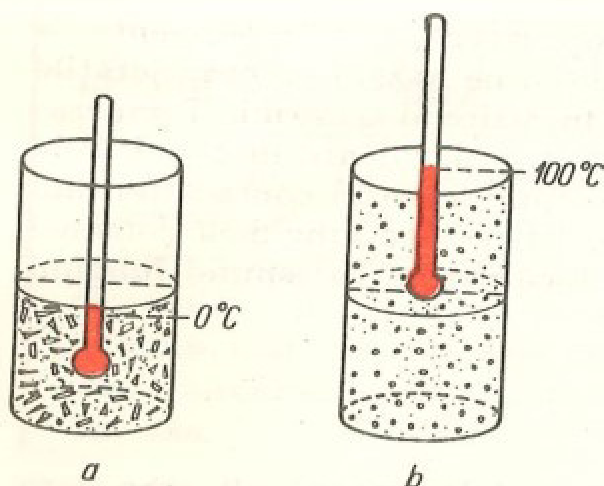


Fig. 3.6. Stabilirea scării Celsius.

100 de variaţii de temperatură egale. Fiecărei unităţi de lungime îi va corespunde o variaţie de o unitate a temperaturii.

Ori de cîte ori lungimea coloanei de mercur din termometru variază cu o unitate, temperatura variază cu o valoare bine determinată pe care o numim grad Celsius (°C). În experienţele de laborator şi în viaţa de toate zilele, se foloseşte de obicei ca unitate de măsură pentru temperatură gradul Celsius.

Privind scara gradată a unor termometre observăm că gradaţiile se continuă peste 100°C şi sub 0° Celsius.

Dacă nivelul mercurului este situat sub 0°C, spunem că temperatura este negativă (sau minus), iar dacă nivelul este situat deasupra lui 0°C, temperatura este pozitivă (sau plus).

De exemplu, dacă nivelul termometrului este situat în dreptul diviziunii 5 sub 0° C, citim o temperatură de minus cinci grade Celsius(—5°C), iar dacă nivelul mercurului urcă la diviziunea 7 peste 0°C, citim o temperatură de +7°C.

O scară de temperatură universală, independentă de natura corpului termometric şi utilă pentru un interval larg de temperatură, a fost propusă de către Kelvin; temperatura exprimată în această scară se numeşte temperatură absolută (se notează cu T). Unitatea de măsură pentru temperatură în Sistemul Internaţional este kelvinul, avînd simbolul K: $[T]_{SI} = K$.

Legătura între temperatura măsurată în kelvini (K) şi temperatura măsurată în grade Celsius este exprimată de relaţia:

$$T\text{K} = t°\text{C} + 273{,}15.$$

Dacă la un moment dat temperatura unui corp este T_1(K) iar la un moment ulterior temperatura este T_2 variaţia temperaturii corpului este

$$\Delta T = T_2 - T_1 \text{ (măsurată în kelvini).}$$

Exprimînd în grade Celsius,

$$T_1 = t_1 + 273{,}15; \quad T_2 = t_2 + 273{,}15.$$

Rezultă: $\Delta T = T_2 - T_1 = t_2 + 273{,}15 - (t_1 + 273{,}15) = t_2 - t_1 = \Delta t;$

ΔT (măsurată în kelvini) $= \Delta t$ (grade Celsius).

1. Turnați apă fierbinte în două pahare egale ca mărime, dar construite din materiale diferite, respectiv unul din aluminiu și altul din sticlă. În care dintre cele două pahare apa se va răci mai repede?

Răspuns: Apa din cele două vase se află în contact termic cu aerul din exterior. Ele ajung în echilibru termic după intervale de timp diferite, acestea depinzînd de natura pereților despărțitori. Aluminiul conduce mai bine căldura, spre deosebire de sticlă. Deci, echilibrul termic se atinge mai repede la paharul cu pereți din aluminiu. Paharul cu pereți de sticlă încetinește realizarea echilibrului termic.

2. Pentru a se apăra de frig iarna, păsările își zburlesc penele, iar animalele, părul. De ce?

Răspuns: Atunci cînd păsările își zburlesc penele, între pene și pielea păsărilor pătrunde aerul. Stratul de aer se comportă ca un material izolator. În felul acesta păsările sînt izolate termic de exterior. Aceeași explicație pentru animale.

3. Graficul din figura 3.7 reprezintă procesul prin care două corpuri A și B, puse în contact termic într-un vas bine izolat, ajung în stare de echilibru termic. Să se determine:

a) După cît timp de la stabilirea contactului termic se realizează echilibrul și care este temperatura corpului în starea de echilibru?

b) Care sînt valorile de temperatură ale celor două corpuri la 10 minute de la stabilirea contactului?

Rezolvare: Punctul în care graficul temperaturii corpului A întîlnește pe cel al corpului B se proiectează în dreptul diviziunii 24 min pe axa timpului. În continuare graficul este o dreaptă paralelă cu axa timpului adică temperatura rămîne neschimbată. Valoarea acestei temperaturi este de 30°C. Înseamnă că echilibrul se realizează după 24 de minute și temperatura celor două corpuri în această stare este de 30°C.

b) Din dreptul diviziunii notate cu 10 minute se ridică o perpendiculară. La intersecția ei cu cele două grafice se găsesc punctele la care pe axa temperaturii corespund diviziunile 40°C și 13°C. Deci corpul A are după 10 minute temperatura de 40°C, iar corpul B are temperatura de 13°C.

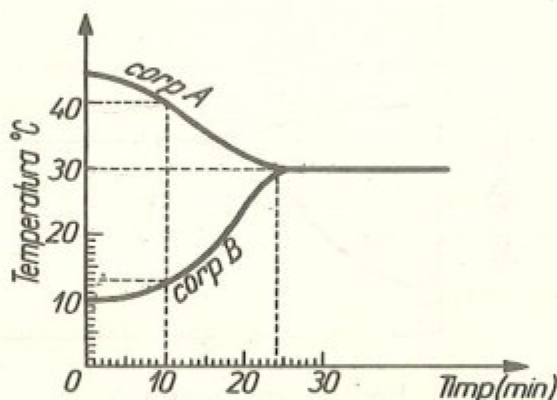


Fig. 3.7. Pentru problema rezolvată 3.

1. Termometrul şi corpul a cărui temperatură trebuie determinată formează un sistem fizic.

a) Ce condiţii trebuie să îndeplinească din punct de vedere termic cele două elemente ale sistemului, pentru ca valoarea citită pe termometru să fie corectă?

b) Prin citirea termometrului apreciem temperatura corpului sau a termometrului?

2. Pentru a măsura temperatura din frigider, un elev ia termometrul de cameră pe care-l ţine cîteva secunde în interiorul frigiderului, apoi afirmă că temperatura este de 10°C. Cu ce a greşit?

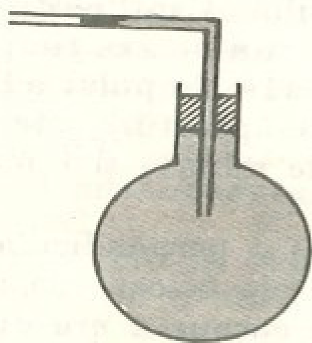


Fig. 3.8. Pentru problema 4.

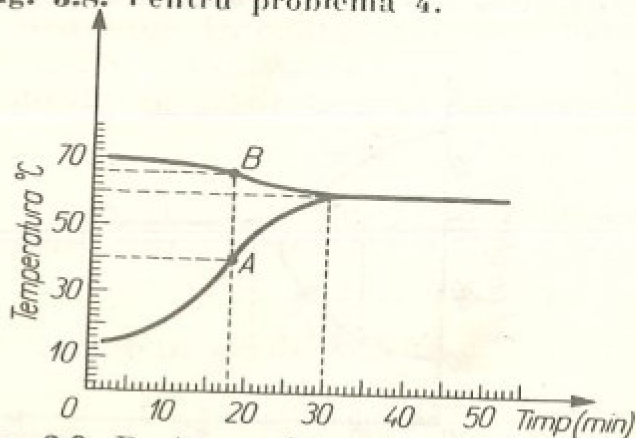


Fig. 3.9. Pentru problema 5.

3. Punerea unui termometru în contact cu un corp în scopul determinării temperaturii corpului nu trebuie să schimbe starea termică a corpului respectiv. De aceea, termometrul trebuie să îndeplinească o anumită condiţie. Care este aceasta?

4. Un balon prevăzut cu un tub îndoit în unghi drept închide un volum de aer. Pe porţiunea orizontală se află o picătură de apă colorată. Ar putea fi folosit acest dispozitiv ca termometru? În acest caz descrieţi un procedeu de etalonare a tubului (fig. 3.8.).

5. Graficul din figura 3.9 descrie felul în care două corpuri ajung în starea de echilibru termic, din momentul în care au fost puse în contact termic.

a) Cît a durat procesul de trecere la starea de echilibru?

b) Care este valoarea temperaturii de echilibru a celor două corpuri?

c) La ce moment are corpul A temperatura de 40°C?

d) Ce temperatură are în acel moment corpul B?

R: a) $t = 30$ min; b) $\theta = 60°C$; c) $t = 18$ min; d) $\theta = 66°C$.

Capitolul 4

Procese termodinamice

Căldura. Căldura specifică

Se știe că două corpuri cu temperaturi diferite, puse în contact termic, își schimbă starea de încălzire și după un anumit timp se stabilește o stare de echilibru termic. Trecerea unui corp dintr-o stare de echilibru termic într-o altă stare de echilibru termic se numește proces termic.

Fiecare din cele două corpuri suferă un proces termic.

Spunem despre corpul cu temperatura inițială mai mică decît temperatura finală că se încălzește, iar despre corpul cu temperatura inițială mai mare decît cea finală că se răcește. Dacă cele două corpuri aflate în contact termic sînt izolate adiabatic de exterior, spunem că cele două corpuri ajung la echilibru termic datorită schimbului de căldură dintre ele. Deci, căldura este o mărime fizică ce caracterizează un proces termic. Se notează cu Q. Unitatea de măsură pentru căldură este joulul $[Q]_{SI} = J$.

Cînd căldura schimbată de corp cu exteriorul are ca efect mărirea temperaturii corpului, spunem că acel corp *primește căldură*, iar cînd are ca efect scăderea temperaturii corpului, spunem că *cedează căldură.*

Între căldura schimbată de un corp și variația temperaturii sale există o dependență care este determinată de natura și de masa corpului, precum și de condițiile fizice în care are loc schimbul de căldură. Mărimile fizice ce stabilesc o legătură cantitativă între căldura Q primită sau cedată de un corp și variația temperaturii sale se numesc *coeficienți calorici*. Prezentăm, în continuare, acești coeficienți calorici.

Capacitatea calorică este o caracteristică termică a corpului și a substanței din care este alcătuit. Două corpuri, confecționate din același material, de masă diferită au capacitatea calorică diferită.

Capacitatea calorică este mărimea fizică numeric egală cu căldura necesară pentru a crește (micșora) temperatura unui corp cu 1 grad. Ea se notează de obicei prin C. Valoarea ei este dată prin relația:

$$C = \frac{Q}{\Delta t}.$$

Unitatea de măsură pentru capacitatea calorică se stabileşte din relaţia de definiţie:

$$[C]_{SI} = \frac{[Q]}{[\Delta t]} = \frac{J}{K}.$$

Căldura specifică, notată cu c, caracterizează proprietăţile termice ale substanţei din care este alcătuit corpul respectiv, independent de masa sa. Căldura specifică este căldura necesară pentru a creşte sau a micşora temperatura unităţii de masă dintr-un corp cu 1 grad.

Unitatea de măsură pentru căldura specifică se determină din relaţia de definiţie:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}\ ;\ [c]_{SI} = \frac{[Q]_{SI}}{[m]_{SI}[\Delta t]_{SI}} = \frac{J}{kg \cdot K}.$$

Căldura specifică este deci o constantă de material; valorile ei pentru cîteva substanţe sînt prezentate în tabelul de mai jos:

Căldura specifică

Substanţa	c(J/kg · K)	*Substanţa*	c(J/kg · K)
1. Alamă	384,6	10. Zinc	399,2
2. Aluminiu	919,6	11. Alc. etilic	2482,0
3. Argint	250,8	12. Acid acetic	1736,9
4. Cupru	381,6	13. Apă	4185
5. Fier	459,8	14. Acetonă	2180,6
6. Gheaţă	2090,0	15. Benzină	1880
7. Oţel	502,2	16. Benzen	1736,9
8. Plumb	125	17. Glicerină	2410,8
9. Platină	120	18. Petrol	2090

Faptul că apa are căldura specifică atît de mare, ne permite să explicăm unele fenomene care se produc în natură şi în tehnică. Aşa se explică clima mai constantă a regiunilor de lîngă mare şi ocean. Se ştie că vara, la malul mării, temperatura aerului este mai mică decît cea înregistrată în interiorul ţării, iar iarna se întîmplă invers: temperatura aerului este mai ridicată în apropierea mării şi mai scăzută în interiorul ţării. Acest lucru se explică astfel: deoarece apa are o căldură specifică mult mai mare decît pămîntul, temperatura ei se modifică mai puţin decît a pămîntului cînd primeşte sau cedează căldură. Ca urmare, aerul din apropierea marilor întinderi de apă rămîne vara mai rece, iar iarna mai cald decît cel de deasupra pămîntului.

Căldura primită sau cedată de un corp de masă m și de căldură specifică c, cînd temperatura lui variază cu Δt (diferența între temperatura finală și cea inițială) poate fi exprimată prin relația:

$$Q = mc\Delta t.$$

Probleme rezolvate

1. Calculați căldura necesară încălzirii de la 30°C la 35°C a 2 kg apă.
Rezolvare: Căldura necesară încălzirii apei se calculează cu relația:

$$Q = mc\Delta t; \quad Q = 2\ \text{kg} \cdot 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 5\ \text{K} = 41\,850\ \text{J}.$$

Valoarea obținută este pozitivă, deci corpul se încălzește.

2. Calculați căldura cedată de 2 kg de apă în exterior, cînd temperatura variază de la 30° C la 25° C.
Rezolvare: Căldura se calculează cu relația:

$$Q = mc\Delta t; \quad Q = 2\ \text{kg} \cdot 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (25 - 30)\ \text{K} = -41\,850\ \text{J}.$$

Valoarea obținută este negativă, corpul cedează căldură în exterior, răcindu-se.

Calorimetrie

În practică este necesară cunoașterea căldurii schimbate într-un proces termic sau cunoașterea căldurii specifice a unor corpuri. Calorimetria este un capitol al fizicii care se ocupă cu studiul metodelor și instrumentelor folosite la determinarea căldurii și a căldurii specifice. Aparatul utilizat pentru măsurarea căldurilor absorbite sau cedate de corpuri, sau a căldurilor specifice se numește *calorimetru*. El este astfel construit încît să permită schimbul de căldură între corpurile introduse în el, dar să nu permită schimbul de căldură cu mediul exterior. Este alcătuit dintr-un vas *(1)*, de obicei din alamă, introdus într-un alt vas *(2)*. Aceste două vase sînt izolate de exterior prin suporții de plută *(3)* și prin stratul de aer *(4)* dintre pereți. În vasul *1* se află apă care ajută la schimbul de căldură. Omogenizarea apei din vas se face cu un agitator *A* și temperatura se măsoară cu ajutorul unui termometru *T*.

Întregul sistem este acoperit cu un capac izolator termic (fig. 4.1).

Să urmărim în continuare modul în care se realizează experimentul pentru măsurarea căldurii specifice a unui corp.

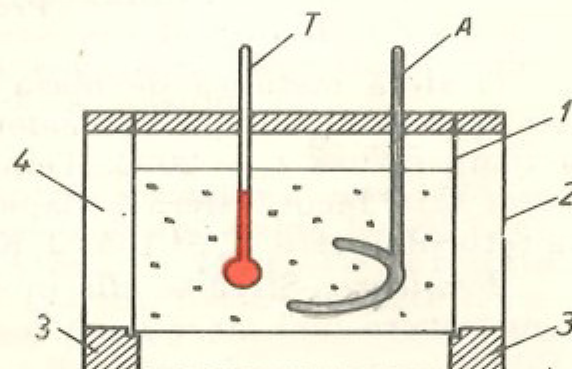


Fig. 4.1. Calorimetru.

E | *Experiment:* Luați un corp de masă $m_1 = 200$ g. Cîntăriți apoi masa apei din calorimetru și notați-o cu m_2. Citiți temperatura apei din calorimetru. Notați această temperatură cu t_1. Încălziți corpul pînă la o temperatură t_A, după care îl introduceți în calorimetru. După ce ați agitat din cînd în cînd amestecul, citiți temperatura finală, de echilibru, t. Capacitatea calorică a vasului calorimetrului, agitatorului și termometrului este C.

Corpurile sînt izolate adiabatic. Ca urmare, procesul termic care are loc este caracterizat printr-un transfer de căldură de la corpul cald la corpul rece în care căldura cedată de corpul încălzit este egală cu căldura primită de apă, vasul calorimetric, agitator și termometru

$$\boxed{Q_{cedat} = Q_{primit}.}$$

Această relație se numește *ecuația calorimetrică.*

Căldura specifică a corpului, c_1, se calculează avînd în vedere relațiile

$$Q_{ced} = m_1c_1(t_A - t); \quad Q_{primit} = m_2c_2(t - t_1) + C(t - t_1).$$

Se obține:

$$m_1c_1(t_A - t) = (m_2c_2 + C)(t - t_1); \quad c_1 = \frac{m_2c_2 + C}{m_1} \cdot \frac{t - t_1}{t_A - t}.$$

Repetați experimentul de mai sus luînd o altă cantitate de apă și un alt corp, din același material, cu masa diferită de a primului. După ce efectuați cîteva experimente, calculați media aritmetică a căldurilor specifice obținute (adunînd valorile lui c_1 și împărțind la numărul experimentelor efectuate). Comparați rezultatul obținut cu valoarea căldurii specifice corespunzătoare substanței din care sînt confecționate corpurile existente în tabel. Determinați astfel și eroarea.

Temă experimentală

Determinați căldura specifică a următoarelor corpuri:
— un corp de fier, unul de plumb și unul de aluminiu.

Problemă rezolvată

O sferă metalică de masă $m_1 = 570$ grame și temperatura $t_1 = 95°$ C este introdusă într-un vas calorimetric ce conține apă cu masa $m_2 = 200$ g și temperatura $t_2 = 20°$C. Temperatura de echilibru este $t = 25°$C. Din ce metal este făcută sfera? (Capacitatea calorică a vasului, termometrului și agitatorului este $C = 164$ J/K.)

Rezolvare: Sfera se află în contact termic cu apa din calorimetru. Avînd temperatura mai mare decît a apei, sfera cedează căldură, iar apa absoarbe căldură.

$$Q_{ced} = m_1c_1(t_1 - t); \quad Q_{primit} = m_2c_2(t - t_2) + C(t - t_2).$$

Scriem ecuația calorimetrică în care se iau valorile cu semnul plus:

$$Q_{ced} = Q_{primit}; \quad m_1c_1(t_1 - t) = m_2c_2(t - t_2) + C(t - t_2)$$

rezultă:

$$c_1 = \frac{m_2c_2(t - t_2) + C(t - t_2)}{m_1(t_1 - t)},$$

înlocuind cu datele numerice din problemă avem:

$$c_1 = \frac{(0{,}2\ \text{kg} \cdot 4\,180\ \text{J/kg} \cdot \text{K} + 164\ \text{J/K})\,5\text{K}}{0{,}570\ \text{kg} \cdot 70\ \text{K}} = 125{,}3\ \text{J/kg} \cdot \text{K};$$

în tabelul cu călduri specifice găsim că metalul cu $c = 125$ J/kg · K este plumbul.

Întrebări, exerciții, probleme

1. O placă de teracotă sau cărămidă se încălzește sau se răcește mai încet decît una de tablă de aceeași masă? Cum explicați acest lucru?

2. Luați două vase identice care conțin cantități egale de apă m_1 cu temperatura T_1. Introduceți în cele două vase două sfere metalice — una de fier și alta de cupru. Cele două sfere au aceeași masă m_2 și aceeași temperatură T_2. Care vor fi temperaturile finale în cele două vase?

3. Trei bile din materiale diferite (plumb, cupru, fier), de mase egale, încălzite la aceeași temperatură, sînt puse pe un bloc de gheață. Topesc toate bilele aceeași cantitate de gheață (verificați experimental)?

4. Ce căldură este necesară pentru a mări temperatura unei cantități de 100 g alcool de la 15°C la 40° C?

   R: $Q = 6\,205$ J.

5. Ce cantitate de apă poate fi încălzită de la 10° C pînă la 35° C dacă i se transmite căldura 209,25 kJ?

   R: $m = 2$ kg.

6. Într-un vas sînt 200 grame de apă. Ea se încălzește pînă la fierbere (100° C) și absoarbe 66,96 kJ. Care este temperatura inițială a apei?

   R: $t = 20°$ C.

7. O bucată de cupru de 400 g la temperatura de 80° C este introdusă într-un calorimetru în care sînt 600 g de apă. Temperatura de echilibru a celor două corpuri este 30° C. Care este temperatura inițială a apei? Capacitatea calorică a calorimetrului $C = 152$ J/K.

   R: $t = 27°$ C.

8. Într-un calorimetru se află 300 g de apă la temperatura de 20° C. Ce cantitate de apă cu temperatura de 70° trebuie adăugată, astfel ca temperatura finală a amestecului să ajungă la 30° C? (Se neglijează capacitatea calorică a calorimetrului.)

   R: $m = 75$ g.

9. Intr-un vas cu 5 kg apă la temperatura de 36° C se introduce o bucată de aluminiu cu temperatura de 0° C. Temperatura de echilibru este de 30° C. Ce masă are bucata de aluminiu? Se neglijează capacitatea calorică a vasului.

   R: $m = 4{,}5$ kg.

10. Pentru pregătirea unei băi se amestecă apă caldă la 66° C cu apă rece la 11° C. Ce cantitate de apă din fiecare fel este necesară pentru a obține 550 l de apă la 36° C?

    R: $m_1 = 250$ l; $m_2 = 300$ l.

Transformarea lucrului mecanic în căldură

În paragraful anterior am văzut că starea de încălzire a unui corp se poate modifica prin schimb (transfer) de căldură între corpul respectiv și un altul. Ne întrebăm acum dacă starea de echilibru termic a unui sistem poate fi modificată și pe altă cale decît prin schimb de căldură. Pentru a înțelege acest lucru, să urmărim următorul exemplu:

Dacă atingem cu mîna o piesă prelucrată la strung, constatăm că aceasta s-a încălzit. Același lucru îl constatăm și la atingerea unei piese prelucrate cu o pilă.

Cărui fapt se datorește încălzirea corpului, constatată la sfîrșitul operației de prelucrare?

Observăm că asupra piesei se exercită o acțiune mecanică din exterior, deci se efectuează un lucru mecanic din exterior.

Dacă asupra unui sistem izolat adiabatic se exercită o acțiune mecanică, atunci starea de echilibru termic a unui corp se modifică. În figura 4.2 este prezentat un dispozitiv experimental cu ajutorul căruia se poate efectua lucru mecanic asupra unui sistem izolat adiabatic.

Acest experiment a fost efectuat pentru prima dată de J.F. Joule în 1845. Măsurări precise au fost efectuate și de către savantul român Constantin Miculescu (1863—1937).

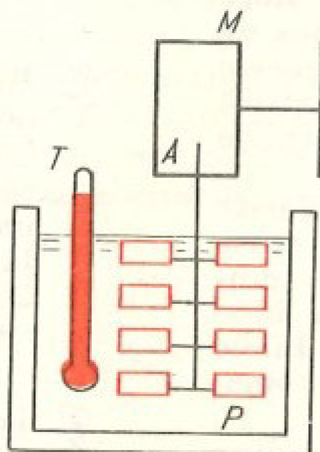


Fig. 4.2. Dispozitiv experimental pentru studiul transformării lucrului mecanic în căldură.

E *Experiment:* Într-un vas calorimetric se află apă (fig. 4.2). Se măsoară temperatura apei cu ajutorul termometrului T. Prin punerea în funcțiune a motorului M, se rotește axul A și împreună cu acesta se învîrtesc și paletele P fixate pe ax, aflate în apă. După cîteva minute se citește din nou temperatura apei. Termometrul T arată o temperatură mai mare decît aceea citită la începutul experienței. Constatăm că apa s-a încălzit.

Cînd axul se rotește, paletele fixate pe el (interacționînd cu apa) provoacă încălzirea acesteia, datorită existenței forțelor de frecare între straturile de apă și între palete și apă.

Concluzie: Aceeași variație de temperatură a aceluiași sistem poate fi realizată fie prin transfer de căldură (contact termic) fie prin efectuare de lucru mecanic asupra sistemului.

Problemă rezolvată

Mărim temperatura unei plăci metalice, cu același număr de grade, fie prin frecare, fie prin lovire. În care din aceste două cazuri se efectuează asupra plăcii un lucru mecanic mai mare dacă nu se face schimb de căldură cu exteriorul?

Răspuns: Lucrul mecanic efectuat este același în ambele cazuri, deoarece are același efect, adică aceeași variație a temperaturii plăcii.

Transformările izobară și izocoră la gaze *(text facultativ)*

1. *Transformarea izobară*

În anul trecut ați studiat fenomenul de dilatare a corpurilor aflate în diferite stări de agregare. Vom relua acest fenomen pentru corpurile aflate în stare gazoasă.

E *Experiment:* Fie un balon de sticlă în care se găsește aer la presiunea atmosferică (fig. 4.3). Balonul este astupat cu un dop de cauciuc prin care trece un tub de sticlă îndoit. Pe porțiunea orizontală a tubului de sticlă se află o coloană de mercur, care desparte aerul din balon de aerul din exterior. Deoarece tubul este orizontal, presiunea gazului din balon rămîne constantă și egală cu presiunea atmosferică. Acest proces, în care presiunea rămîne constantă, se numește proces izobar. Încălziți balonul într-un vas cu apă. Determinați la diferite momente temperatura gazului din balon. Variația volumului este pusă în evidență prin deplasarea coloanei de mercur în tubul orizontal. Măsurați variațiile volumului pentru diferite temperaturi.

Reprezentați grafic raportul între variația volumului asupra volumului inițial în funcție de temperatură. Se obține o dreaptă (fig. 4.4).

Concluzie: Variația relativă a volumului unui gaz aflat la o presiune constantă este direct proporțională cu temperatura. Cantitativ acest lucru se scrie sub forma:

$$\Delta V/V_0 = \alpha \cdot t$$

unde α se numește *coeficient de dilatare izobară.*

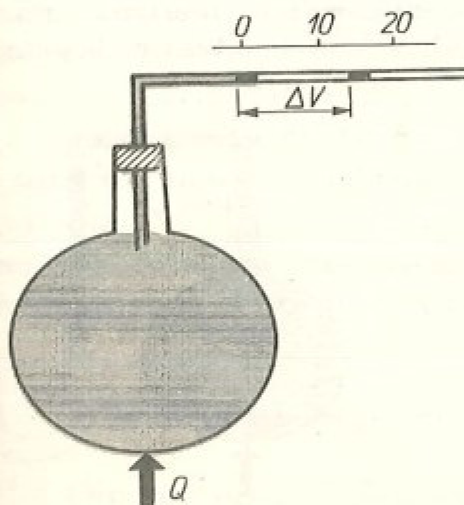


Fig. 4.3. Dispozitiv experimental pentru studiul dilatării gazelor la presiune constantă.

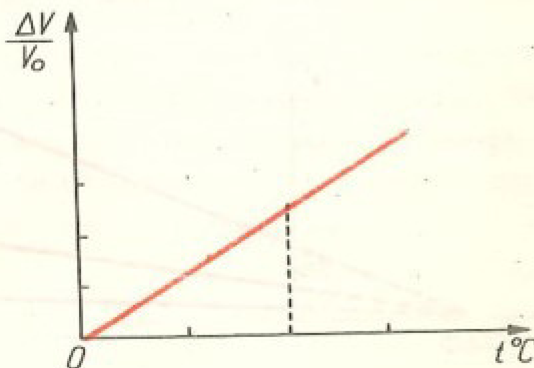


Fig. 4.4. Creșterea unității de volum cu temperatura pentru orice gaz.

Coeficientul de dilatare izobară este egal cu variația relativă a volumului gazului cînd temperatura lui crește cu un grad. Pentru toate gazele coeficientul de dilatare are valoarea:

$$\alpha = \frac{1}{273,15}\ \text{grd}^{-1}.$$

Legea de variație a volumului, în funcție de temperatură, este următoarea:

$$\Delta V = V_0\alpha t;\ \ V - V_0 = V_0\alpha t:\ \ V = V_0(1 + \alpha t).$$

Această relație arată că volumul unui gaz aflat la presiune constantă crește liniar cu temperatura. Reprezentarea grafică a acestei legi în coordonate V și t este dată în figura 4.5.

Exemplu: Volumul unei cantități de gaz, aflat la temperatura $t_1 = 0°C$, trebuie dublat la presiune constantă. Care este temperatura finală a gazului?

Rezolvare:

$$\left.\begin{aligned} V &= V_0(1 + \alpha t) \\ V &= 2V_0 \end{aligned}\right\} \Rightarrow 2V_0 = V_0(1 + \alpha t)$$

$$2 = 1 + \alpha t \text{ sau } \alpha t = 1,$$

de unde,

$$t = \frac{1}{\alpha} = 273° \text{ C}.$$

2. *Transformarea izocoră*

Să vedem cum se comportă termic gazele aflate în vase ce nu-și pot modifica volumul. Avem de-a face cu o încălzire la volum constant. Un astfel de proces se numește proces izocor.

E *Experiment:* Se închide o masă de gaz într-un balon de sticlă cu ajutorul unei coloane de mercur, ca în figura 4.6. Se încălzește gazul păstrînd tot timpul volumul constant. Aceasta se realizează prin ridicarea sau coborîrea bratului 2. Se măsoară variațiile de presiune la diferite temperaturi.

Se constată că:

Variația relativă a presiunii unui gaz la volum constant este direct proporțională cu temperatura, adică $\Delta p/p_0 = \beta t$, unde β se numește *coeficient termic al presiunii*. Făcînd pe $t = 1°C$, rezultă: coeficientul de variație a presiunii sub volum constant este numeric egal cu variația presiunii gazului cînd acesta este încălzit cu un grad.

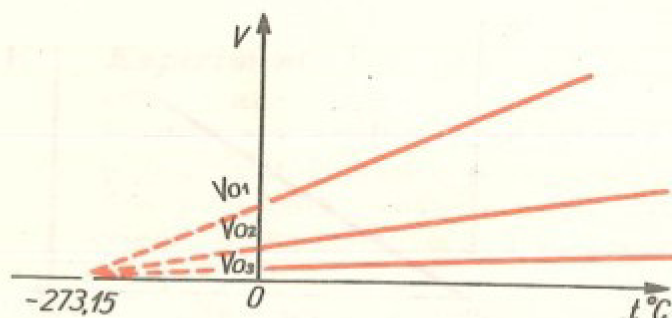


Fig. 4.5. Variația volumului cu temperatura.

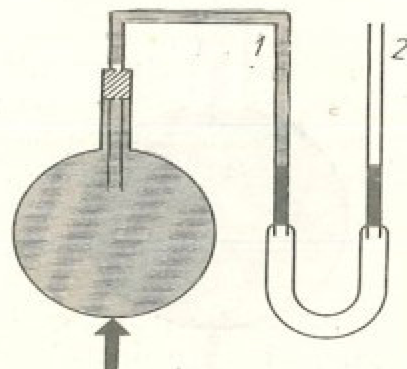


Fig. 4.6. Dispozitiv experimental pentru studiul dilatării gazelor la volum constant.

Măsurătorile experimentale au arătat că β *are aceeași valoare pentru toate gazele și este*

$$\beta = \frac{1}{273,15}\ \mathrm{grd}^{-1}.$$

Legea de variație a presiunii se scrie sub forma: $p = p_0(1 + \alpha t)$
care arată că presiunea unui gaz menținut la volum constant crește liniar cu temperatura. Coeficientul termic al presiunii β este egal cu coeficientul de dilatare termică a volumului

$$\alpha = \beta = \frac{1}{273,15}\ \mathrm{grd}^{-1}.$$

Legile sînt valabile în anumite condiții. Gazul care respectă aceste legi se numește *ideal*.

Exemplu: Un volum de aer închis se află la temperatura $t = 0°C$ la o presiune de o atmosferă. La ce temperatură se mărește presiunea gazului de 3 ori?

Rezolvare: $p = p_0(1 + \alpha t)$; $p = 3\ p_0$;

$$3\ p_0 = p_0(1 + \alpha t) \Rightarrow 3 = 1 + \alpha t;\ 2 = \alpha t \Rightarrow t = \frac{2}{\alpha};\ \ t = 2 \cdot 273,15 = 546,30\ °C.$$

Energia internă

În cazul experienței lui Joule ne putem pune următoarea întrebare: De ce se încălzește apa din calorimetru? Calorimetrul asigură izolarea adiabatică a apei, deci nu schimbă căldura cu exteriorul. Încălzirea apei din calorimetru se datorește forțelor de frecare. Din exterior s-a acționat mecanic asupra sistemului, modificîndu-se starea termică. Forța exterioară efectuează un lucru mecanic. Lucrul mecanic modifică deci starea sistemului pe care am observat-o prin variația temperaturii apei.

În acest caz lucrul mecanic produce o creștere a unei mărimi numită *energie internă*. Pentru anumite sisteme energia internă este o formă de energie care depinde numai de temperatură. La o temperatură mai mare energia internă a sistemului este mai mare și invers. Introducerea noțiunii de energie internă este necesară pentru a descrie variațiile de energie datorate transformărilor care scot sistemul din starea de echilibru.

Experiența arată că, la trecerea sistemului dintr-o stare inițială caracterizată de energia internă U_1 într-o stare caracterizată de energia internă U_2, variația $\Delta U = U_2 - U_1$ a energiei interne depinde doar de starea finală și inițială. Aceasta înseamnă că energia internă este o mărime care depinde doar de starea sistemului; spunem că este o *mărime fizică de stare.*

Schimbul de energie prin lucru mecanic și căldură

Din paragraful *Transformarea lucrului mecanic în căldură* rezultă că starea unui sistem izolat adiabatic se poate modifica și datorită schimbului de lucru mecanic între sistem și exterior; datorită acestui schimb energia internă a sistemului se modifică.

1. Considerăm un sistem izolat adiabatic. a) Presupunem că sistemul trece dintr-o stare A într-o stare B numai datorită unui lucru mecanic efectuat din exterior. Variația energiei interne este:

$$\Delta U = U_B - U_A$$

şi, conform legii conservării energiei, aceasta este: $\Delta U = -L$.

Semnul $(-)$ din fața lui L apare datorită unei convenții de semn: dacă asupra sistemului se efectuează lucru mecanic atunci se consideră $L < 0$, energia internă a sistemului creşte, deci $\Delta U > 0$. Prin urmare trebuie ca L să aibă semnul $(-)$. Creşterea energiei interne cînd asupra sistemului se efectuează un lucru mecanic a fost pusă în evidență experimental.

E *Experiment:* Pregătiți un autosifon. Capsula în care se află comprimat bioxidul de carbon se află la temperatura camerei. După montarea și înșurubarea în lăcașul său, butelia eliberează gazul din interiorul ei. Acesta pătrunde în vasul mare, amestecîndu-se cu apa. Gazul efectuează un lucru mecanic asupra aerului aflat deasupra apei din butelia sifonului. Atingeți cu mîna capsula metalică. Veți constata că aceasta s-a răcit foarte mult.

Concluzie: Sistemul format din bioxidul de carbon izolat adiabatic a efectuat un lucru mecanic asupra aerului, fapt ce a dus la scăderea energiei interne. Acest lucru se observă prin scăderea temperaturii. În acest caz variația energiei interne este negativă.

b) Sistemul efectuează lucru mecanic asupra exteriorului. În acest caz lucrul mecanic este pozitiv:

$$\Delta U = -L < 0 \text{ sau } \Delta U + L = 0.$$

2. Considerăm acum un sistem aflat în starea inițială A. Acționînd exclusiv termic asupra sistemului, acesta trece într-o altă stare B. În acest caz sistemul nu poate să schimbe decît căldura Q cu exteriorul.

Variația energiei interne a sistemului este:

$$\Delta U = U_B - U_A = Q.$$

Considerăm căldura primită de sistem din exterior ca pozitivă, respectiv negativă, dacă sistemul cedează căldură în exterior.

Concluzie: Cele discutate pînă acum ne conduc la concluzia că energia internă a unui corp se modifică numai dacă există schimb de lucru mecanic sau schimb de căldură între el și mediul exterior. În general, dacă sistemul schimbă atît căldură cît şi lucru mecanic cu exteriorul

$$\Delta U = U_B - U_A = Q - L.$$

Într-o transformare, variația energiei interne a unui sistem depinde doar de stările inițială și finală ale sistemului.

Această afirmație reprezintă *principiul întîi al termodinamicii.*

Din acest principiu putem trage concluzia privind posibilitatea unui sistem termodinamic de a efectua un lucru mecanic. Din relația de mai sus se obține:

$$L = Q - \Delta U.$$

a) Dacă $Q = 0$ (sistemul nu primește căldură) avem: $L = -\Delta U$.

Aceasta înseamnă că un sistem termodinamic care nu primește căldură din exterior poate efectua un lucru mecanic asupra corpurilor din jur numai pe baza micșorării energiei interne.

b) Dacă $\Delta U = 0$, rezultă $L = Q$, adică: Un sistem termodinamic poate efectua lucru mecanic într-o transformare în care starea inițială este identică cu starea finală numai dacă primește căldură din exterior.

Din aceste două situații rezultă că un sistem termodinamic nu poate efectua un lucru mecanic asupra corpurilor din jur fără să consume nimic.

Exemplu: Un ferăstrău cu care se taie un lemn se încălzește, deoarece datorită lucrului mecanic efectuat de forțele de frecare energia lui internă crește. Lăsat deoparte, după un timp temperatura lui revine la cea dinainte de a fi fost folosit pentru tăierea lemnului. Ferăstrăul a cedat căldură exteriorului și energia lui internă a revenit la cea inițială. Lucrul mecanic efectuat de mediul exterior asupra ferăstrăului în prima etapă este egal cu căldura cedată de ferăstrău mediului înconjurător.

Întrebări, exerciții, probleme

1. Explicați de ce prin frînare bruscă anvelopele unui automobil se încălzesc foarte mult.
2. Dacă rezervorul unui termometru este frecat cu un tifon, se constată că mercurul începe să se ridice. Cum se explică acest lucru?
3. Dacă în timpul unei transformări temperatura sistemului rămîne constantă, ce se întîmplă cu energia sa internă?
4. Dacă ne-au înghețat mîinile, ne putem încălzi în două moduri: fie frecîndu-le una de alta, fie introducîndu-le în apă caldă. În ambele cazuri rezultă o creștere a energiei interne a mîinilor, manifestîndu-se prin creșterea temperaturii. Cum se explică creșterea energiei interne în fiecare caz?
5. Care din afirmațiile următoare sînt corecte:
   — Un corp are căldură.
   — Un corp are lucru mecanic.
   — Un corp efectuează o energie internă.
   — Un corp cedează căldură?

6. Ce puteţi spune despre energia internă a unui sistem fizic în următoarele transformări:
— Sistemul este izolat, adiabatic şi mecanic.
— Sistemul este izolat adiabatic, dar nu şi mecanic.
— Sistemul este izolat mecanic dar nu este izolat adiabatic.
— Sistemul nu este izolat adiabatic şi nici mecanic?

Scrieţi expresia variaţiei energiei interne pentru fiecare caz în parte.

Combustibili

Obţinerea căldurii este o problemă de mare însemnătate pentru omenire. Încălzirea locuinţelor, pregătirea hranei, procesele de prelucrare a materialelor folosite în tehnică nu ar fi posibile dacă omul nu ar dispune de diferite mijloace de producere a căldurii. Combustibilii sînt substanţe care prin ardere degajă căldură şi pot încălzi corpurile din jur. După modul în care se obţin, combustibilii sînt: naturali (cărbune, lemn, petrol, gaz metan) şi artificiali, obţinuţi prin prelucrarea celor naturali: benzină, motorină etc.

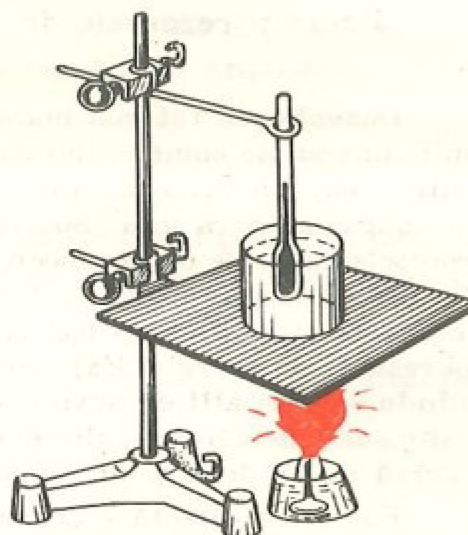
După starea de agregare la temperatura normală, combustibilii sînt: solizi (lemn, cărbune), lichizi (petrol, benzină, alcool) şi gazoşi (gazul metan, hidrogenul).

Combustibilii folosiţi pentru obţinerea căldurii prin ardere trebuie să îndeplinească următoarele calităţi: temperatura de aprindere să nu fie prea mare, temperatura de combustie să fie ridicată, iar arderea să fie întreţinută.

Ne propunem în continuare să comparăm doi combustibili, din punctul de vedere al masei consumate pentru obţinerea unei anumite călduri degajate. Se vor folosi drept combustibili alcool şi petrol. Efectuăm următoarele experienţe:

E *Experiment.* Cîntăriţi o lampă cu alcool. Folosiţi această lampă pentru a încălzi 100 grame de apă cu 30°C, stabilind însă exact condiţiile în care are loc încălzirea. Paharul va fi aşezat pe o sită de sîrmă, astfel încît vîrful flacării să ajungă la nivelul sitei (fig. 4.7). După ce apa a ajuns la temperatura dorită, respectiv la 60° C, stingeţi lampa şi cîntăriţi-o din nou. Se determină masa alcoolului care a ars pentru realizarea încălzirii apei cu 30° C. Se repetă experimentul pentru a încălzi 100 g apă cu 60° C. Se determină din nou masa de alcool care a ars. Se constată că pentru a încălzi cantitatea de apă cu 60° C este necesară o cantitate de alcool de două ori mai mare decît atunci cînd încălzirea se face pentru aceeaşi cantitate de apă cu 30° C.

Prin arderea unor cantități diferite din același combustibil se obțin călduri diferite proporționale cu masa de combustibil ars.


Fig. 4.7. Încălzirea apei cu sursă termică.

E *Experiment:* Puneți în două lămpi identice separat alcool și petrol în cantități egale. Încălziți cîte 200 grame de apă prin arderea acestor combustibili. Determinați variațiile de temperatură ale apei, înregistrate prin arderea fiecărui combustibil în parte.

Se constată că variațiile de temperatură obținute sînt diferite prin încălzire cu combustibili diferiți. Prin arderea maselor egale de combustibili diferiți se degajă cantități de căldură diferite. Căldura degajată prin arderea unui combustibil, Q, este direct proporțională cu masa combustibilului, m,.

$$Q = m \cdot q.$$

Dependența căldurii degajate prin arderea unui combustibil de natura lui este reprezentată de factorul q numit *putere calorică:*

$$q = \frac{Q}{m}.$$

Prin putere calorică a unui combustibil se înțelege căldura cedată mediului exterior prin arderea completă a unui kg din acel combustibil.

Unitatea de măsură pentru puterea calorică este:

$$[q]_{SI} = \frac{[Q]}{[m]_{SI}} = \frac{J}{kg}.$$

În tabelul de mai jos sînt trecute cîteva valori ale puterii calorice pentru diferiți combustibili.

Puteri calorice

Combustibil	Puterea calorică kJ/kg	Combustibil	Puterea calorică kJ/kg
Alcool	23 855	Lemn uscat	16 470
Benzină	45 980	Lignit	20 925
Cărbune de lemn	29 260	Petrol	45 980

Căldura şi rezervele de combustibil (lectură)

Dezvoltarea tot mai mare a industriei şi ridicarea nivelului de trai necesită tot mai mult consum de combustibil natural — petrol, cărbune, gaz metan. După cum se ştie dacă dintr-o magazie oricît ar fi de mare, tot timpul scoţi şi nu mai completezi, la un moment dat magazia se va goli. Soarta combustibililor este aceeaşi. În prezent, se apreciază că procesele naturale de producere a combustibililor (ţiţei, cărbune sau gaz metan) au încetat, şi consumul creşte necontenit. Situaţia nu este disperată cum ar încerca unii să o descrie. Omul este capabil să învingă „foamea de energie" cu ajutorul inteligenţei sale, descoperind noi resurse de energie. Exploatarea şi consumul combustibililor trebuie să se facă raţional, ţinîndu-se cont atît de nevoile actuale cît şi de cele viitoare. În acelaşi timp trebuie găsite şi alte surse de căldură, alte modalităţi de a produce căldura. Căldura solară poate constitui o sursă de căldură şi de energie termică.

Folosirea directă a „cărbunelui galben" poate înlocui cu mult succes combustibilii folosiţi. Cu ajutorul unor instalaţii s-ar obţine o acţiune mecanică pe seama conversiei acţiunii termice a Soarelui. Dacă s-ar putea realiza conversia acţiunii termice a Soarelui în energie, numai pe 1% din suprafaţa Pămîntului cu un randament de 5% s-ar obţine anual 6×10^{13} kWh, ceea ce reprezintă de 40 de ori consumul actual de energie pe Pamînt. Specialiştii prevăd că după 1990 exploatarea directă a acţiunii termice a Soarelui va lua o deosebită amploare, mai ales în zonele cu mare luminozitate în tot timpul anului.

Pe această linie se înscrie şi politica economică a partidului şi statului nostru. Astfel, în Directivele privind dezvoltarea economică în cincinalul 1986—1990 şi în Raportul la cel de-al XIII-lea Congres al P.C.R. din 19 npiembrie 1984*, se subliniază următoarele:

„O atenţie deosebită va fi acordată noilor surse de energie — biomasa, energia vîntului, energia solară şi altele".

Probleme rezolvate

1. Ce căldură se obţine prin arderea a 50 g de benzină?

Rezolvare: Căldura degajată prin arderea unui combustibil este: $Q = m \cdot q$.

Căutăm în tabel puterea calorică a benzinei şi găsim $q = 45\,980$ kJ/kg. Înlocuind în formulă datele numerice se obţine:

$$Q = 0{,}05 \text{ kg} \cdot 45\,980 \text{ kJ/kg} = 2\,299 \text{ kJ}.$$

2. Să se calculeze raportul căldurilor degajate prin arderea unor cantităţi egale de benzină şi alcool.

Rezolvare: Căldura degajată la arderea unui combustibil este:

$$Q_1 = mq_1 \text{ pentru alcool; } Q_2 = mq_2 \text{ pentru benzină.}$$

Facem raportul acestor două relaţii şi se obţine:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{mq_1}{mq_2} \text{ sau } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{q_1}{q_2}.$$

* Raport la al XIII-lea Congres al P.C.R. din 19 noiembrie 1984, p. 17.

În tabelul puterilor calorice găsim pentru alcool $q_1 = 23\,855$ kJ/kg, iar pentru benzină $q_2 = 45\,980$ kJ/kg; înlocuind în relație se obține:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{23\,855}{45\,980} = 0{,}516.$$

3. Cît timp poate fi încălzită o încăpere cu o cantitate de 500 kg lemne uscate, arătînd că în medie pentru încălzirea pe zi este necesară căldura de 279 000 kJ.

Rezolvare: Calculăm cantitatea de lemne necesară pentru a încălzi încăperea timp de o zi, știind că:

$$m = \frac{Q}{q}, \text{ deci } m = \frac{279\,000 \text{ kJ}}{16\,470 \text{ kJ/kg}} = 16{,}6 \text{ kg}.$$

Cunoscînd cantitatea de lemne necesară pentru a încălzi încăperea o zi, putem afla numărul de zile în care s-ar consuma 500 kg de lemne:

$$\text{Nr. de zile} = \frac{M \text{ kg}}{m \text{ kg/zi}} = \frac{500 \text{ kg}}{16{,}6 \text{ kg/zi}} \approx 30 \text{ zile.}$$

Întrebări, exerciții, probleme

1. Căldura obținută prin arderea a 3 kg de combustibil este 137 940 kJ.
Care este combustibilul folosit?

R: Combustibilul folosit este benzina.

2. Prin arderea unei cantități de benzină, aceasta cedează căldura de 2 299 MJ. Ce cantitate de benzină a fost folosită?

R: $m = 50$ kg.

3. Prin arderea unei cantități de alcool este cedată căldura de 238 550 kJ. Ce cantitate de benzină trebuie arsă pentru a ceda aceeași căldură?

R: $m = 5{,}18$ kg.

4. Să se calculeze raportul maselor a două cantități de cărbune și petrol care prin ardere cedează aceeași căldură Q.

R: $m_c/m_p = 1{,}56$.

5. Căldura eliberată de 1 kg de benzină prin ardere completă este folosită pentru încălzirea a 200 kg de apă aflate inițial la temperatura de 0° C. Care este temperatura finală a apei?

R: $t = 55$°C.

6. Un vas cu apă primește pentru încălzirea sa căldura de 20 950 kJ. Aceasta poate fi obținută prin arderea următorilor combustibili: a) petrol; b) lemn; c) alcool. Ce cantități din fiecare combustibil sînt necesare pentru a încălzi vasul?

R: $m_1 = 0{,}450$ kg; $m_2 = 1{,}25$ kg; $m_3 = 0{,}870$ kg.

I. *Lucrul mecanic efectuat de un sistem termodinamic*

Din capitolele de mecanică ştim că un sistem poate efectua un lucru mecanic asupra corpurilor din jur. Aţi învăţat de asemenea că un sistem efectuează un lucru mecanic, dacă mai întîi se acţionează asupra sa, astfel ca energia lui să crească. Ne propunem în continuare să vedem în ce condiţii un sistem termodinamic efectuează un lucru mecanic dacă asupra lui se acţionează termic. Pentru aceasta, efectuăm următorul experiment:

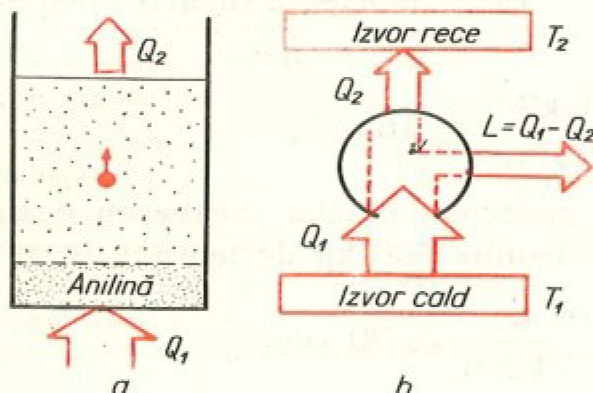


Fig. 4.8. Principiul motorului termic. *a)* Anilina se mişcă atunci cînd vasul este încălzit. *b)* Schema principiului motorului termic.

E *Experiment:* Pe cărămida încălzită (caloriferul cald) se aşază un pahar înalt folosit în chimie. Pe fundul vasului se află un strat de anilină şi deasupra o cantitate suficient de mare de apă (fig. 4.8, *a*). După un timp o picătură de anilină se ridică deasupra apei; deoarece prin încălzire îşi măreşte volumul, picătura efectuează un lucru mecanic asupra apei. La suprafaţa apei, picăturafiind în contact cu aerul rece cedează căldură, îşi micşorează volumul şi cade din nou la fund. Acest proces se va repeta atît timp cît este caldă cărămida.

În acest experiment, avem un motor termic, în care cărămida este sursa caldă iar aerul atmosferic este sursa rece.

II. *Randamentul motorului termic*

Dacă analizăm din nou ultimul experiment observăm că nu întreaga căldură Q_1 primită de sistemul termodinamic de la sursa caldă contribuie la efectuarea de către acesta a unui lucru mecanic L. O parte $Q_2 < 0$ din căldura primită este cedată sursei reci (aerului atmosferic), deci $L = Q_1 - Q_2$ (fig. 4.8, *b*). Un motor termic este un dispozitiv care transformă o parte din căldura primită în lucru mecanic.

Dacă Q_1 este căldura absorbită de un motor termic iar L lucrul mecanic efectuat de acesta, atunci raportul L/Q_1 reprezintă randamentul motorului termic. Deci:

$$\eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

Din cele de mai sus rezultă că $L < Q_1$, astfel că $\eta < 1$.

Maşinile termice care folosesc forţa de presiune a aburului au randamentul destul de mic (sub 10%). Maşinile termice moderne se bazează pe forţele de presiune exercitate direct de gazele ce rezultă din arderea combustibilului. Randamentul lor este de cîteva ori mai mare decît cel al maşinilor cu abur.

Tipuri de motoare termice

Motorul termic este un sistem termodinamic care efectuează lucru mecanic cînd se acţionează termic asupra sa şi în anumite condiţii. Căldura pe care motoarele termice o transformă parţial în lucru mecanic se obţine prin arderea în motor a unui combustibil (cărbune, păcură, benzină, motorină, metanol). Această căldură este transmisă substanţei de lucru care îşi măreşte presiunea şi apasă pe pistonul mobil al unui cilindru punîndu-l în mişcare. Se produce în acest fel un lucru mecanic. În funcţie de construcţia motorului, combustibilul arde în interiorul cilindrului cu pistonul mobil, sau în exteriorul său.

Luînd în consideraţie locul unde se produce arderea, motoarele termice se împart în două categorii:

a) motoare termice cu ardere externă (exemplu: locomotiva cu aburi, turbina cu aburi);

b) motoare termice cu ardere internă (de exemplu: motorul cu aprindere prin scînteie, motorul Diesel, motorul cu reacţie etc.).

Motorul cu ardere internă fiind cel mai răspîndit, vom analiza modul de funcţionare al acestuia.

Motorul în patru timpi

Motorul cu aprindere prin scînteie sau motorul cu benzină foloseşte drept combustibil vapori de benzină amestecaţi cu aer. Acest amestec este absorbit într-un cilindru cu piston şi aprins cu ajutorul unei scîntei produse de bujii. Prin arderea combustibilului rezultă gaze de ardere la temperatură şi presiune ridicate. Gazele de ardere apasă asupra pistonului şi-l pun în mişcare. Pistonul este pus în legătură cu roata printr-un sistem de bielă-manivelă, sistem prin care mişcarea rectilinie de du-te-vino a pistonului se transformă în mişcare circulară continuă. La mişcarea pistonului în sens invers, gazele arse sînt evacuate, după care pistonul aspiră o nouă cantitate de amestec de vapori de benzină cu aer.

Ciclul de funcţionare al motorului descris decurge în patru timpi, fiecărui timp îi corespunde o cursă a pistonului între două extreme.

Timpul 1. *Admisia* (fig. 4.9, *a*) coborînd în cilindru, pistonul provoacă pătrunderea amestecului gazos de benzină şi aer în cilindru prin supapa de admisie, S_1. Supapa de evacuare, S_2, este în tot acest timp închisă.

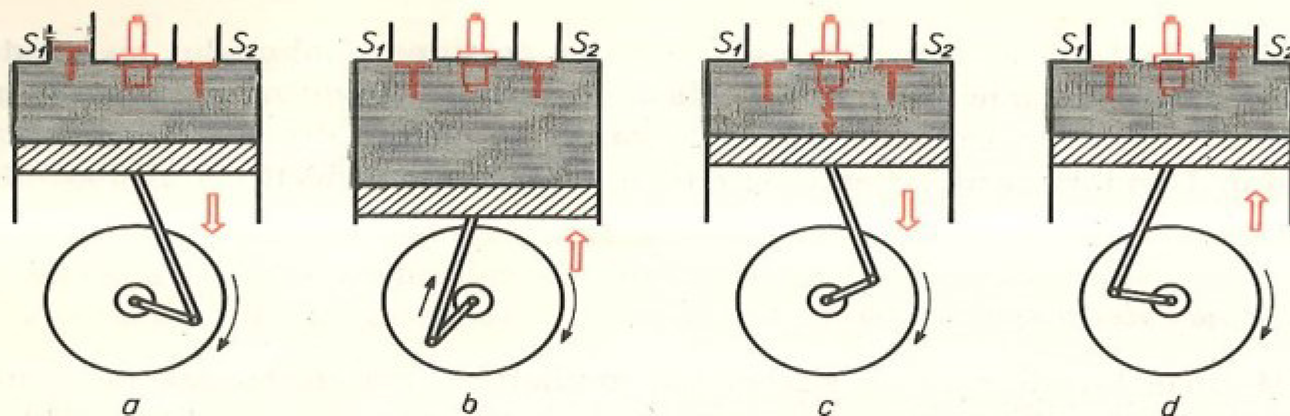


Fig. 4.9. Funcţionarea motorului cu aprindere prin scînteie.

Timpul 2. *Compresia:* ridicîndu-se, pistonul comprimă amestecul gazos din corpul cilindrului mărind presiunea gazului; ambele supape sînt închise (fig. 4.9, *b*).

Timpul 3. *Aprinderea şi detenta:* cele două supape rămîn închise; bujia produce o scînteie; amestecul gazos începe să ardă progresiv în toată masa lui. Temperatura şi presiunea gazelor rezultate prin ardere cresc brusc, la aproximativ 2 000° C şi respectiv cîteva zeci de atmosfere. Gazele exercită o forţă mare de apăsare asupra pistonului şi îl împing în jos efectuînd un lucru mecanic (fig. 4.9, *c*). În acest moment are loc destinderea gazului. Cînd pistonul ajunge în partea cea mai de jos, supapa de evacuare S_2 se deschide. Presiunea gazului scade brusc pînă la valoarea presiunii atmosferice. În timpul acestui proces substanţa de lucru cedează căldură în exterior (fig. 4.9, *c*).

Timpul 4. *Evacuarea:* supapa de evacuare S_2 este deschisă. Pistonul se reîntoarce (urcă) evacuînd gazele arse prin supapa deschisă (fig. 4.9, *d*). Cînd timpul 4 se încheie, începe un alt ciclu.

Un alt tip de motor cu ardere internă este motorul Diesel (numit astfel după numele inventatorului său). Motorul Diesel foloseşte drept combustibil motorina. El are alt sistem de aprindere a combustibilului. Randamentul motorului Diesel este superior randamentului motorului cu ardere prin scînteie, ajungînd pînă la 45%.

Pe planşa de la sfîrşitul manualului sînt ilustrate cîteva utilizări ale motorului termic.

Probleme rezolvate

1. Un motor termic primeşte din exterior căldura $Q_1 = 90$ kJ şi efectuează un lucru mecanic $L = 15$ kJ. Calculaţi randamentul motorului.

Rezolvare: randamentul se calculează cu relaţia:

$$\eta = \frac{L}{Q_1}; \quad \eta = \frac{15 \text{ kJ}}{90 \text{ kJ}} = \frac{1}{6} \rightarrow \eta = 16{,}6\%.$$

2. Două motoare termice au randamentele $\eta_1 = 15\%$, respectiv $\eta_2 = 20\%$. Ambele motoare primesc aceeași căldură. Calculați raportul lucrurilor mecanice efectuate de cele două motoare.

Rezolvare: din $\eta_1 = \frac{L_1}{Q_1}$ și $\eta_2 = \frac{L_2}{Q_2}$ avem $\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{Q_2}{Q_1}$.

Deoarece $Q_1 = Q_2$ se obține: $\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{15}{20}$ deci $\frac{L_1}{L_2} = \frac{3}{4}$.

Întrebări, exerciții, probleme

1. Într-un corp de pompă este închisă o cantitate de aer care se încălzește. Aerul ridică pistonul pompei efectuînd un lucru mecanic de 20 kJ. Care este căldura primită de gaz dacă randamentul instalației de încălzire este 80%?

   R: $Q = 25$ kJ.

2. Un motor cu randamentul de 25% primește căldura $Q = 147{,}2$ kJ. Ce lucru mecanic efectuează motorul?

   R: $L = 36{,}8$ kJ.

3. Randamentul unui motor Diesel este de 30%. Dacă motorul consumă 18 kg de motorină cu puterea calorică de 45 960 kJ/kg, să se calculeze căldura absorbită și lucrul mecanic efectuat?

   R: $Q = 827\,280$ kJ; $L = 248\,184$ kJ.

4. Care este randamentul unui motor termic care efectuează un lucru mecanic de 114 950 kJ, consumînd 5 kg de benzină?

   R: $\eta = 50\%$.

Forme de propagare a căldurii: conducția, convecția, radiația termică

În practică sînt numeroase cazuri în care au loc interacțiuni termice între corpuri. Cunoașterea felului în care se desfășoară interacțiunea termică dă posibilitatea să se înțeleagă numeroase fenomene din natură și tehnică.

1. De ce atunci cînd atingem cu mîna două obiecte: unul metalic și celălalt din stofă, primul ni se pare mai rece decît al doilea, deși sînt în aceeași stare de încălzire?

2. De ce conductele prin care curge gaz sau un lichid sînt acoperite cu vată de sticlă?

3. Care este mecanismul de formare a vînturilor în atmosferă?

Iată cîteva întrebări la care veți putea da răspuns numai după ce veți studia cîteva moduri concrete de acțiune termică a unui corp asupra altui corp.

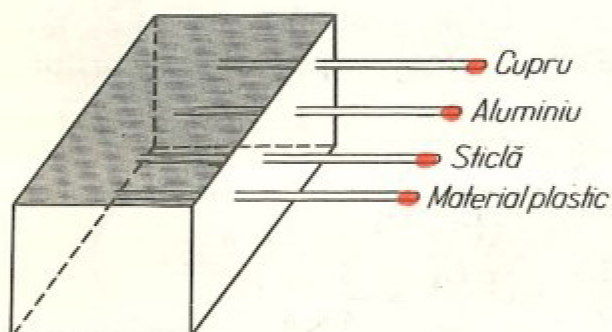


Fig 4.10. Conducția căldurii.

Conducția

E *Experiment:* Într-un dispozitiv cum este cel din figura 4.10 turnați apă la temperatura de 70° C. La capetele exterioare ale celor 4 bare de cupru, aluminiu, sticlă și material plastic se află lipită cîte o bobiță de ceară. Urmăriți după cît timp bobițele de ceară se încălzesc și se desprind de bară.

Observație: Experimentul ne arată că interacțiunea termică dintre apa fierbinte și bobița de ceară s-a produs prin intermediul barei de cupru sau aluminiu deoarece căldura s-a propagat prin aceasta. Un astfel de tip de interacțiune termică se numește *conducție.* Nu toate corpurile pot favoriza conducția. Substanțele cum sînt: argintul, fierul, cuprul, aluminiul care favorizează conducția se numesc corpuri termoconductoare (sau bune conducătoare de căldură). Se constată că pentru bara de sticlă și cea de material plastic conducția se produce foarte încet. Asemenea corpuri se numesc termoizolatoare (izolatoare termice).

Astfel de corpuri se folosesc pentru izolarea termică a diferitelor instalații și aparate.

Convecția

Urmărind tabelul cu conductivități termice observăm că, în cazul lichidelor și gazelor, acestea au valori mici. Ne-am aștepta ca interacțiunea termică prin conducție să nu se producă. Totuși, dacă într-o cameră facem focul în sobă constatăm că în scurt timp întreaga cameră se încălzește. Aceasta se explică printr-un alt tip de interacțiune termică, întîlnit numai la gaze și lichide numit *convecție.*

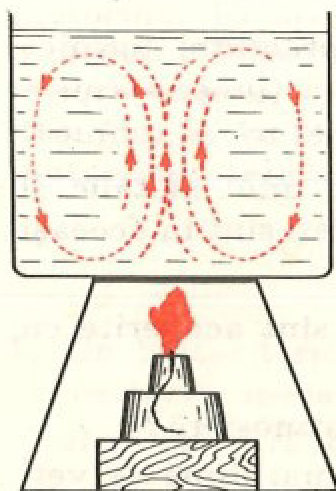


Fig. 4.11. Convecția în lichide.

E *Experiment:* Luați un vas de sticlă în care se găsește apă și rumeguș de lemn. Încălziți vasul la o lampă de spirt. După cîteva minute veți putea observa mișcările firișoarelor de rumeguș antrenate de curenții de apă caldă (fig. 4.11).

Acest lucru se explică astfel: straturile de apă de la fundul vasului se dilată prin încălzire și astfel densitatea lor scade. Devenind mai ușoare decît

straturile superioare ele se ridică, în timp ce straturile mai reci coboară. Acestea venind în contact cu partea inferioară caldă a vasului se dilată din nou, formîndu-se în felul acesta curenţi în masa apei. Aceşti curenţi se numesc curenţi de convecţie şi ei asigură trecerea succesivă a tuturor straturilor prin dreptul izvorului de căldură, înlesnind încălzirea întregii mase de lichid. În mod asemănător se formează curenţii de convecţie la încălzirea camerelor (fig. 4.12). Aerul rece pătrunde prin spaţiile libere ale uşilor sau ferestrelor şi, încălzindu-se, densitatea lui scade provocînd ridicarea pe verticală a aerului cald şi coborîrea aerului rece.

Radiaţia

Acţiunea termică poate avea loc şi atunci cînd un corp este situat la o distanţă mai mare nu numai prin contact direct. Acest lucru este verificat deoarece toate corpurile aflate pe Pămînt sînt încălzite de la Soare. Acţiunea termică din partea unui corp îndepărtat are loc prin radiaţie. Să studiem acest mod de acţiune termică.

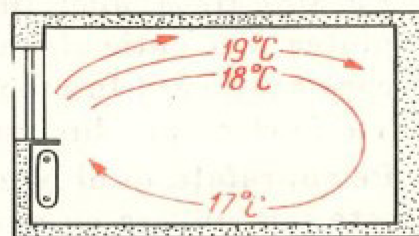


Fig. 4.12. Convecţia într-o cameră.

E *Experiment: a.* Ţineţi cîteva minute un termometru la o depărtare de cîţiva cm de flacăra unei lămpi cu alcool (dar nu deasupra) şi observaţi indicaţiile termometrului.

Veţi constata faptul că termometrul indică o temperatură din ce în ce mai ridicată. Acţiunea flăcării asupra termometrului s-a produs prin convecţie, dar şi prin radiaţie. Pentru a evidenţia şi mai bine acest lucru repetăm experimentul.

E *Experiment: b.* De data aceasta aşezăm între flacăra lămpii şi termometru o oglindă sau o foiţă de staniol. Indicaţiile termometrului după acelaşi interval de timp vor fi mai mici decît cele obţinute în experimentul precedent.

Suprafaţa lucioasă împiedică radiaţia să ajungă la termometru şi încălzirea acestuia se va face numai prin convecţie. Orice corp încălzit emite radiaţii. Emisia radiaţiei este favorizată dacă suprafaţa corpului radiant este mai mare. Acesta este motivul pentru care radiatoarele unei instalaţii de încălzire se construiesc din mai mulţi elemenţi.

În experimentul *b* am văzut că oglinda sau staniolul împiedică radiaţia să ajungă la termometru. Această proprietate o au toate suprafeţele lucioase şi corpurile de culoare deschisă, de aceea oamenii se îmbracă în haine de culoare deschisă, în special albă, vara şi în haine de culori închise iarna. Pentru a pune în evidenţă acest lucru facem următorul experiment:

E *Experiment:* Umplem cu apă două cutii identice din acelaşi metal, una vopsită în culoare neagră, cealaltă în culoare albă. Expuneţi cele două cutii la Soare. După un anumit timp măsurăm temperaturile celor două cantităţi de apă. Se constată că apa din vasul de culoare neagră are temperatura mai mare decît apa din vasul de culoare albă.

Concluzie: corpurile de culoare închisă se încălzesc mai uşor decît cele de culoare deschisă. Culoarea neagră absoarbe cel mai mult radiaţia.

Întrebări, exerciţii, probleme

1. Pe suprafaţa apei dintr-un vas pluteşte o cutie de aluminiu în care arde vată îmbibată în spirt. Va fierbe apa din vas? De ce?
2. Pe suprafaţa unui bloc de gheaţă este pus un vas cu apă fierbinte. Se va răci apa? Dar dacă blocul de gheaţă ar fi pus deasupra vasului? În ce caz se răceşte mai repede apa din vas?
3. Un kg de apă fierbe mai repede într-un vas întins sau într-un vas înalt?
4. Trebuie să răcim 100 grame de apă cu temperatura de 80° C întrebuinţînd tot 100 grame de apă cu temperatura de 20° C. Care este metoda mai avantajoasă?
   a) Să aşteptăm 5 minute şi după aceea să amestecăm apa caldă cu apa rece.
   b) Să turnăm imediat apa rece în apa caldă şi apoi să aşteptăm 5 minute.
5. De ce credeţi că centrala termică este aşezată la subsolurile unor blocuri şi nu la ultimul etaj?

Capitolul **5**

Stări de agregare a substanței

5.1. Structura substanței

Structura atomo-moleculară

Priviți diferite corpuri din lumea înconjurătoare. Din timpuri străvechi oamenii au folosit corpurile în scopuri practice descoperind anumite însușiri ale lor. Puteți enumera cîteva din aceste proprietăți și unele aplicații bazate pe aceste proprietăți? Astfel, de exemplu, se știa că apa lăsată mai mult timp într-un vas deschis poate să „dispară" prin evaporare. Cum s-ar explica acest fenomen? Cunoașteți de la chimie faptul că substanțele se pot împărți în substanțe simple și substanțe compuse. Deși numărul de substanțe simple este destul de mic (se cunosc peste 100 de substanțe simple), numărul de substanțe compuse este mare; fiecare din aceste substanțe are anumite proprietăți caracteristice. Cum se poate oare explica existența unui număr atît de mare de substanțe compuse și cum se pot explica proprietățile substanțelor simple și compuse? Încercările de a răspunde la astfel de întrebări au condus oamenii la descoperirea faptului că toate substanțele pe care le cunoaștem sînt formate din particule foarte mici, numite molecule și atomi. *Cea mai mică particulă dintr-o substanță care poate exista în stare liberă și care în aceleași condiții de temperatură și presiune prezintă toate proprietățile substanței respective se numește moleculă; cea mai mică particulă dintr-o substanță care prin procedee mecanice obișnuite nu poate fi fragmentată se numește atom.*

Exemplu: Cea mai mică particulă din substanța simplă cea mai ușoară, hidrogenul, este atomul de hidrogen. Cea mai mică particulă din substanța simplă clor este atomul de clor. Prin reunirea a doi atomi de hidrogen se formează o moleculă de hidrogen. Prin reunirea unui atom de hidrogen cu un atom de clor rezultă o moleculă dintr-o substanță nouă, acidul clorhidric.

Ne putem forma o imagine a unor caracteristici ale atomilor și moleculelor studiind datele din următorul tabel:

Cîți atomi se cunosc	108
Diametrul mediu al unui atom	10^{-10} m
Masa unei molecule de apă	$3 \cdot 10^{-26}$ kg
Cîte molecule conține 1 g de apă	$3,3 \cdot 10^{22}$

Fiind foarte incomod să exprimăm în kg masele atomilor sau moleculelor s-a introdus o unitate specială de măsură a maselor foarte mici numită unitate atomică de masă, notată *u*. Prin definiție, *unitatea atomică de masă reprezintă* $\frac{1}{12}$ *din masa atomului de carbon 12.* Exprimată în kg unitatea atomică de masă are valoarea $u = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg.

Frecvent se folosesc noțiunile de masă moleculară relativă notată cu M și masă atomică relativă notată cu A. *Masa moleculară relativă a unei substanțe este raportul dintre masa unei molecule din acea substanță și unitatea atomică de masă.* În mod asemănător *masa atomică relativă a unei substanțe reprezintă cîtul dintre masa unui atom din acea substanță și unitatea atomică de masă.*

Caracteristici ale structurii atomo-moleculare

Numeroase observații și experimente dovedesc faptul că moleculele substanțelor sînt așezate la anumite distanțe unele față de altele, spații libere numite *spații intermoleculare.* Așa se explică faptul că un corp se poate dilata sau contracta, că un gaz se poate comprima sau destinde. Între molecule se manifestă forțe de interacțiune numite forțe intermoleculare. Într-adevăr, dacă ar lipsi aceste forțe, corpurile nu și-ar mai putea păstra forma sau volumul. Forțele intermoleculare se manifestă numai pînă la distanțe foarte mici, de aproximativ $5 \cdot 10^{-6}$ cm. Dacă moleculele se apropie prea mult ele încep să se respingă. În mod obișnuit ele sînt însă ceva mai „depărtate". În acest caz predomină forțele de atracție.

Forțele de atracție dintre moleculele aceluiași corp se numesc *forțe de coeziune.* Forțe de atracție se manifestă însă și între moleculele a două corpuri diferite. În acest caz forțele de atracție se numesc *forțe de adeziune.*

E | *Experiment:* De talerul unei balanţe suspendăm o lamă de sticlă în poziţie orizontală şi o punem în contact cu suprafaţa apei dintr-un vas mai larg (fig. 5.1).

Se observă că lama de sticlă se va desprinde destul de greu de suprafaţa apei, fapt care se datoreşte atît forţelor de adeziune dintre moleculele apei şi sticlei cît şi forţelor de coeziune dintre moleculele de apă care s-au „lipit" de lama de sticlă şi restul moleculelor de apă.

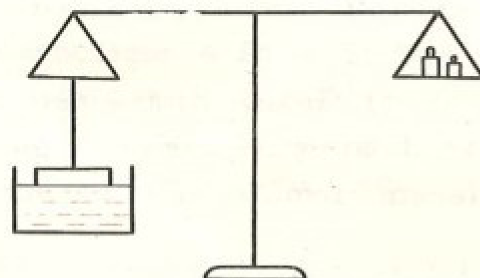


Fig. 5.1. Măsurarea forţei de desprindere a unei lame de sticlă de suprafaţa apei.

Moleculele se găsesc într-o stare permanentă de mişcare dezordonată numită agitaţie termică. Cînd temperatura creşte se măreşte şi agitaţia termică.

E | *Experiment:* Într-o cameră bine închisă turnăm pe o farfurioară puţin eter. După cîtva timp vom constata că mirosul eterului s-a răspîndit în toată camera.

Cum se poate interpreta acest fenomen? Este evident faptul că eterul s-a vaporizat deoarece el a „dispărut" din farfurioară. Moleculele de eter au pătruns printre moleculele din aer răspîndindu-se în cameră datorită mişcării lor neîncetate. Fenomenul de pătrundere a moleculelor unui corp printre moleculele altui corp se numeşte difuziune.

Observaţi cu atenţie, iluminînd lateral cu o lanternă, pulberea de aluminiu care rezultă din strunjirea unei piese de aluminiu. Veţi observa particulele mici şi uşoare de aluminiu strălucind la lumina reflectată şi veţi constata că aceste particule se mişcă în toate direcţiile. Această mişcare este o consecinţă a ciocnirilor moleculelor din aer cu particulele de aluminiu. Acelaşi lucru se observă şi urmărind firele de praf aflate într-o rază de soare.

5.2. Proprietăţile fizice generale ale substanţelor

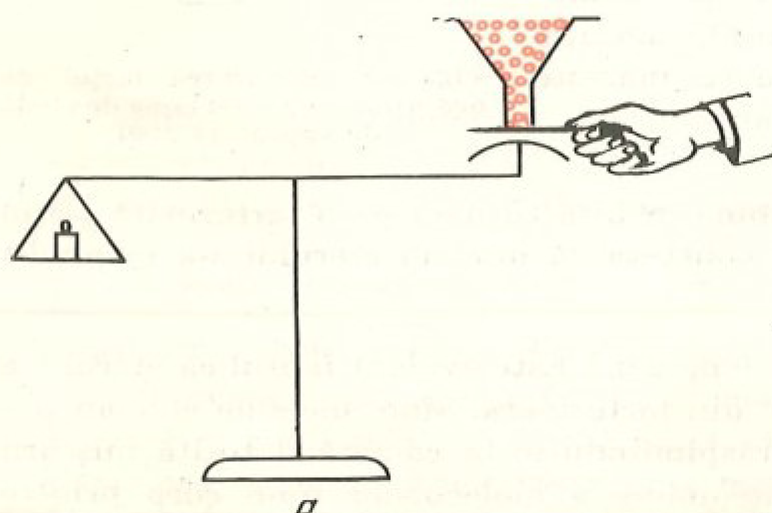
Faza gazoasă

Substanţele aflate în stare gazoasă au forma şi volumul vasului în care se găsesc. Ne propunem să revedem unele proprietăţi şi să le explicăm din punctul de vedere al structurii moleculare şi al agitaţiei termice.

a) Cum vă explicaţi de exemplu faptul că gazele nu au nici formă şi nici volum bine determinate? Explicaţia o constituie existenţa unei atracţii foarte slabe între moleculele de gaz care se datoreşte spaţiilor intermoleculare mari.

b) Expansibilitatea gazelor (răspîndirea gazului în tot volumul pus la dispoziţie) se explică atît prin atracţia slabă dintre molecule cît şi prin agitaţia termică a acestora.

c) Gazele apasă asupra tuturor corpurilor cu o anumită presiune. Cui se datoreşte presiunea gazelor? Pentru a răspunde la această întrebare să facem următorul experiment:



E *Experiment:* Echilibrăm o balanţă la care, în locul unui taler, am montat o sticlă de ceas sau un taler bombat, cu partea bombată în sus (fig. 5.2, *a*). Umplem o pîlnie cu mici bile de oţel (alice) şi lăsăm să cadă aceste alice pe talerul bombat. Fiecare bilă se ciocneşte cu talerul şi sare lateral. Vom observa că balanţa se înclină şi va trebui să adăugăm noi etaloane ca în figura 5.2, *b* pentru reechilibrare.

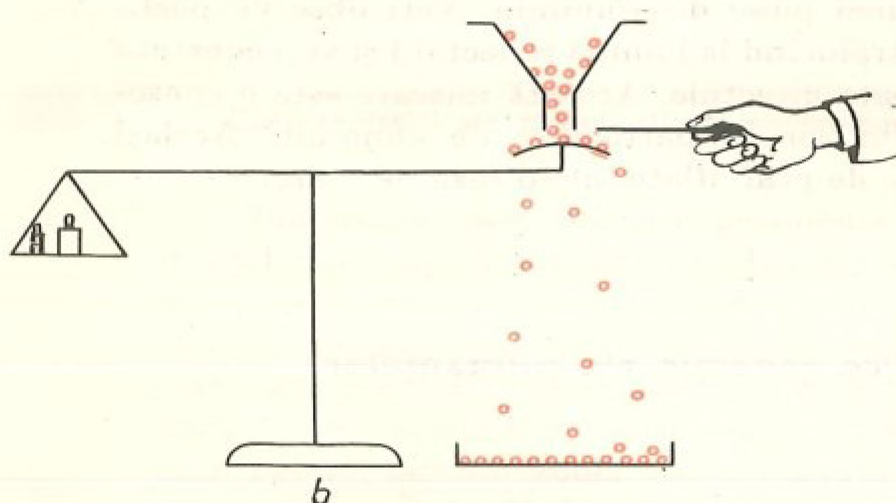


Fig. 5.2. Montaj experimental pentru studiul apăsării produse la ciocnirea unor bile cu un platan. *a)* Bilele nu cad. Balanţa este echilibrată. *b)* Apăsarea produsă la căderea bilelor. Balanţa este reechilibrată cu etaloane suplimentare.

Înclinarea balanţei dovedeşte existenţa unei forţe de apăsare pe talerul bombat şi prin urmare existenţa unei apăsări pe care bilele o exercită asupra talerului.

Să ne imaginăm acum că fiecare bilă reprezintă o moleculă (spunem că ea este un *model* al moleculei). Moleculele, mişcîndu-se permanent şi dezordonat, se vor ciocni cu pereţii vasului în care se află gazul. Ca şi în experimentul descris ele vor exercita o anumită presiune asupra pereţilor vasului.

În concluzie, presiunea gazelor este rezultatul ciocnirilor moleculelor cu pereţii vasului.

Corpurile aflate în stare lichidă au un volum propriu dar nu au o formă proprie. Structura atomo-moleculară a corpurilor lichide este mai complicată decît a gazelor. Într-adevăr, un cm^3 dintr-un gaz aflat în condiții normale conține $2,7 \cdot 10^{19}$ molecule, aproximativ de 1 260 de ori mai puține decît într-un cm^3 de apă. Acest fapt este consecința existenței unor forțe de coeziune considerabile și a micșorării spațiilor intermoleculare. Comparativ cu gazele, în cazul lichidelor agitația termică prezintă un caracter mai complicat.

E *Experiment:* Introducem într-un vas o soluție concentrată de sulfat de cupru. Turnăm apoi cu grijă pe lîngă peretele vasului o cantitate de apă curată (fig. 5.3, *a*). Lăsăm paharul într-un loc izolat timp de mai multe ore după care vom observa în pahar o culoare omogenă albăstruie (fig. 5.3, *b*).

Acest experiment demonstrează atît existența agitației termice a moleculelor unui lichid cît și faptul că difuzia lichidelor este mai lentă decît aceea a gazelor.

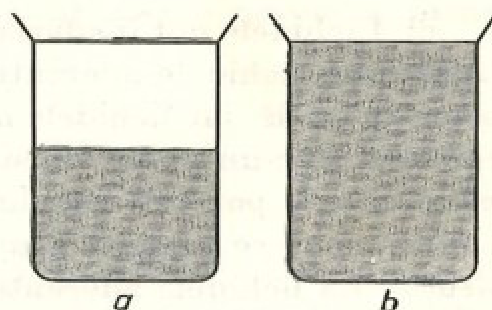


Fig. 5.3. Difuziunea lichidelor.

Să enumerăm și să explicăm proprietățile lichidelor.

a) Lichidele sînt practic incompresibile. Ele au un volum bine determinat care nu poate fi micșorat decît foarte puțin și la presiuni foarte mari. Această proprietate se explică prin atracția moleculară mult mai intensă la corpurile lichide care dă naștere unei presiuni foarte mari, numită presiune internă sau presiune moleculară. De exemplu, în cazul apei, presiunea internă este de 11 000 atm.

b) La suprafața lichidelor se manifestă forțe îndreptate în sensul micșorării suprafeței lichidului, numite forțe de tensiune superficială.

E *Experiment:* Se folosește o ramă circulară de sîrmă care are legată de-a lungul unui diametru un fir de ață de lungime mai mare decît diametrul (fig. 5.4, *a*). Scufundați cadrul într-o farfurie în care se af.ă o soluție de apă cu săpun în care ați turnat și puțină glicerină. În interiorul cadrului se va prinde o peliculă de lichid. Spargeți pelicula de lichid într-un anumit loc.

Vom observa că pelicula rămasă se micșorează cît mai mult posibil, atît cît îi permite firul de ață (fig. 5.4, *b*), demonstrînd astfel existența forțelor de tensiune superficială.

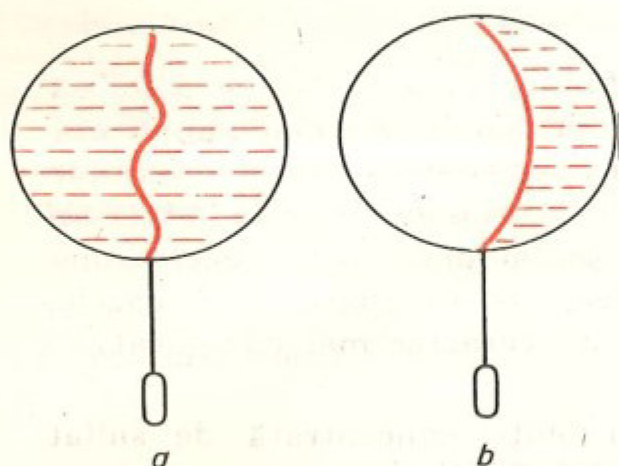


Fig. 5.4. *a)* Ramă metalică avînd peliculă de lichid. *b)* Micşorarea ariei peliculei de lichid.

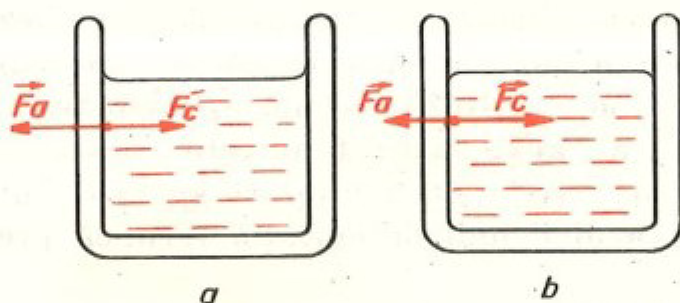


Fig. 5.5. *a)* Lichid aderent; menisc concav. *b)* Lichid neaderent; menisc convex.

c) Lichidele pot fi aderente sau neaderente faţă de vasul în care se găsesc. Altfel spus, lichidele aderente udă pereţii vasului, ca de exemplu apa într-un pahar de sticlă, iar lichidele neaderente nu udă pereţii vasului, ca de exemplu mercurul într-un pahar de sticlă. Proprietatea lichidelor de a fi aderente sau neaderente la peretele vasului se explică prin intermediul forţelor de coeziune şi adeziune ce se exercită asupra moleculelor lichidului în vecinătatea peretelui vasului. La lichidele aderente forţa de adeziune este mai mare decît forţa de coeziune (fig. 5.5, *a*) iar la cele neaderente forţa de coeziune este mai mare decît forţa de adeziune (fig. 5.5, *b*).

d) Suprafaţa liberă a lichidului în vecinătatea pereţilor vasului are o formă curbată numită menisc. Lichidele aderente formează menisc concav (fig. 5.5, *a*), iar cele neaderente formează un menisc convex (fig. 5.5, *b*). Formarea meniscurilor se explică tot prin existenţa forţelor de adeziune şi coeziune ce se exercită la suprafaţa lichidului lîngă peretele vasului.

E | *Experiment:* Introduceţi un tub foarte subţire de sticlă (tub capilar) într-un pahar cu apă. Folosiţi apoi tuburi capilare cu diametre interioare diferite. Vom observa că apa se ridică în tubul capilar la un nivel mai ridicat decît nivelul apei din pahar, cu atît mai mult cu cît tubul este mai subţire.

Fenomenul de ridicare a lichidelor aderente în tuburile capilare se numeşte capilaritate. S-a observat că lichidele neaderente coboară în tuburile capilare în raport cu nivelul lichidului din vas.

E | *Experiment:* Introducem un tub capilar de sticlă într-un pahar cu mercur şi realizăm un circuit electric cu o baterie de buzunar şi un

bec, ca în figura 5.6. Capătul *C* al uneia din sîrmele de legătură se află în paharul cu mercur, iar porțiunea *AB* a celorlalte sîrme se introduce în tubul capilar pînă în poziția în care constatăm că becul se aprinde. Măsurînd lungimea *AB* a sîrmei, constatăm că nivelul mercurului din tubul capilar este mai coborît decît nivelul din pahar.

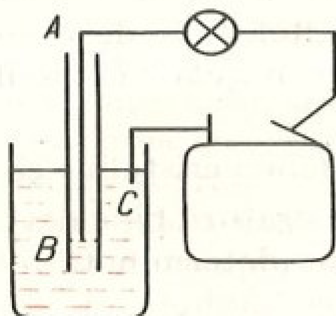


Fig. 5.6. Determinarea coborîrii mercurului într-un tub capilar de sticlă.

Capilaritatea are numeroase aplicații: soluțiile de săruri minerale trec din pămînt și urcă în plantă prin vasele capilare ale acesteia; apa din sol iese la suprafață prin capilarele solului; sugativa absoarbe cerneală prin vasele capilare pe care le conține etc.

Proprietățile corpurilor solide

Corpurile solide sînt caracterizate prin volum și formă bine determinate. Priviți cu lupa sau cu microscopul particule mici de sare de bucătărie. Veți observa că particulele de sare sînt alcătuite din alte formațiuni mai mici de formă cubică cu fețe perfect netede. Acestea sînt cristale de sare de bucătărie (fig. 5.7). Puteți face observații asemănătoare și cu alte substanțe cum sînt cuarțul, galena, grafitul; veți observa o structură cristalină, cu deosebirea că forma cristalelor este diferită de cea cubică. Metalele au de asemenea o structură cristalină (fig. 5.8). Sfărîmăm o bucată de geam cu ciocanul și

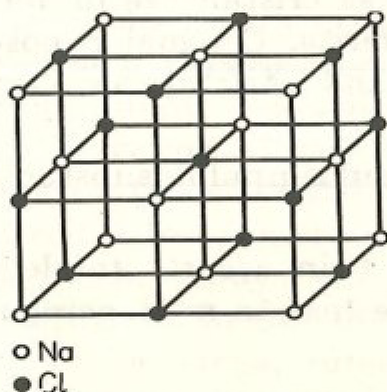


Fig. 5.7. Cristal de NaCl.

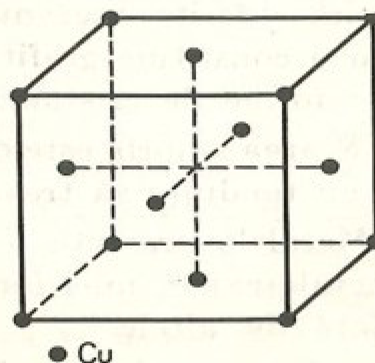


Fig. 5.8. Cristal de Cu.

privim cîteva fragmente la microscop. Nu vom observa particule cu formă geometrică regulată. Asemenea substanţe care nu prezintă o structură cristalină se numesc substanţe amorfe.

Prin urmare corpurile solide pot fi corpuri cristaline sau corpuri amorfe.

Substanţele cristaline sînt formate din atomi, ioni, sau grupuri de asemenea particule aşezate în anumite puncte numite nodurile reţelei cristaline. Forţele care ţin aceste particule unele lîngă altele sînt de natură electrică. La cristale agitaţia termică se manifestă prin mişcări de oscilaţie ale particulelor în jurul nodurilor reţelei cristaline.

Să examinăm cîteva proprietăţi ale corpurilor solide cristaline şi amorfe.

a) Corpurile solide cristaline se topesc la o temperatură bine determinată pe cînd cele amorfe nu au un punct de topire bine determinat.

E *Experiment:* Aveţi în laborator un vas cu apă în care pluteşte un bulgăre de zăpada sau cîteva cuburi de gheaţă. Măsuraţi temperatura amestecului de apă şi gheaţă în diferite momente, pînă cînd se topeşte toată gheaţa. Veţi constata de fiecare dată că termometrul indică 0°C.

Prin urmare gheaţa, care este o substanţă cristalină, se topeşte la o temperatură bine determinată, 0°C la presiune atmosferică normală.

b) Într-un cristal anumite proprietăţi se manifestă în mod diferit după diferite direcţii. Spunem că substanţa cristalină este *anizotropă.*

E *Experiment:* Pe o lamă de cuarţ întindem un strat subţire de ceară de grosime constantă. În mijlocul acestui strat aşezăm un cui înroşit în foc. Vom constata că ceara se topeşte mai repede pe o anumită direcţie şi mai încet pe o direcţie perpendiculară pe prima. Repetînd acelaşi experiment cu o bucată de sticlă vom constata că ceara se topeşte la fel de repede în toate direcţiile.

Spunem că substanţele amorfe sînt *izotrope* adică o anumită proprietate a lor se manifestă la fel în toate direcţiile.

c) Substanţele solide cristaline prezintă o proprietate numită *polimorfism.* Prin aceasta înţelegem că o aceeaşi substanţă poate să cristalizeze în forme geometrice diferite prezentînd proprietăţi fizice diferite. Cel mai cunoscut exemplu îl constituie grafitul şi diamantul ambele fiind varietăţi ale carbonului cu forme de cristalizare diferite.

d) Starea amorfă este o stare nestabilă. În decursul timpului, substanţele amorfe au tendinţa să treacă în stare cristalină.

e) Metalele prezintă o structură policristalină. Prin aceasta înţelegem că în metale există mici formaţiuni cristaline aşezate însă în mod neregulat unele faţă de altele.

Datorită acestei aşezări neregulate, metalele, deşi sînt cristale, prezintă totodată proprietăţi de izotropie.

5.3. Transformări de stare de agregare

Transformări de stare și legi specifice

Ați studiat în clasa a VI-a diferite transformări ale stărilor de agregare. Vom enumera principalele concluzii la care ne-au condus experimentele efectuate. Multe din aceste experimente le puteți reface.

Transformarea din stare lichidă în stare de vapori se numește *vaporizare*, iar transformarea inversă lichefiere sau condensare. Cînd vaporizarea se produce numai la suprafața lichidului ea se numește *evaporare*, iar cînd se produce în toată masa lichidului se numește *fierbere*.

a) Viteza de evaporare depinde de natura lichidului, de mărimea suprafeței libere a lichidului și de starea atmosferei în momentul evaporării.

b) Fierberea se produce la o temperatură specifică fiecărui lichid. (Vezi tabelul de la pag. 121). Această temperatură, dependentă de presiunea exterioară, rămîne constantă în tot timpul fierberii și se numește punct de fierbere (pentru presiunea exterioară de 1 atm).

Trecerea substanțelor din stare solidă în stare lichidă se numește topire, iar fenomenul invers se numește *solidificare*.

c) În tot timpul topirii sau solidificării temperatura rămîne constantă La aceeași presiune exterioară temperatura de topire coincide cu temperatura de solidificare. Topirea (solidificarea) se produce la o temperatură specifică unei substanțe. (A se vedea tabelul de la pagina 121.)

d) În timpul topirii și solidificării volumul substanțelor se modifică. De regulă volumul crește prin topire și se micșorează prin solidificare. Fac excepție anumite substanțe cum sînt gheața și fonta la care variațiile de volum se produc în sens invers.

e) Presiunea exterioară influențează temperatura de topire. La majoritatea substanțelor la care volumul crește prin topire creșterea presiunii duce la creșterea punctului de topire. La celelalte substanțe care fac excepție de la regula variației volumului la topire creșterea presiunii duce la micșorarea temperaturii de topire.

f) Temperatura de topire a unui aliaj este mai mică decît temperatura de topire a fiecărui component al său.

În anumite condiții unele substanțe pot trece direct din stare solidă în stare de vapori. Fenomenul se numește *sublimare*. Un exemplu cunoscut de substanță care sublimează este cel al naftalinei. Cristalele de naftalină. se introduc în șifoniere sau dulapuri cu haine pentru a le proteja împotriva moliilor. După puțin timp, prin sublimare, vaporii de naftalină se răspîndesc prin difuziune în tot interiorul dulapului sau șifonierului. Este de asemenea cunoscut că, iarna, rufele ude care se întind afară se usucă în cîteva zile chiar dacă este ger. Aceasta se explică prin faptul că și gheața sublimează. Fenomenul invers sublimării se numește *desublimare*.

Trecerea substanţelor dintr-o stare de agregare în altă stare de agregare se face cu absorbţie sau cedare de căldură. De exemplu, gheaţa sau zăpada se topesc primind căldură de la soare, apa fierbe cînd primeşte căldură, îndată ce vasul cu apă este îndepărtat de pe plită fierberea încetează. De asemenea, procesul de vaporizare a unor substanţe volatile, cum sînt eterul sau acetona, necesită un consum de căldură. Chiar dacă lipseşte o sursă exterioară de căldură, aceste substanţe iau căldura necesară din mediul înconjurător, producînd o scădere locală a temperaturii. Dacă se pulverizează eter pe o porţiune a corpului, eterul se vaporizează iar scăderea locală a temperaturii este atît de pronunţată încît acea porţiune amorţeşte. Această proprietate este folosită în medicină. În porţiunea amorţită (sau anesteziată) se pot face intervenţii chirurgicale de scurtă durată.

Procesele de condensare şi de solidificare sînt însoţite de degajare de căldură.

E *Experiment:* Colectăm vaporii de deasupra unui vas cu apă care fierbe şi îi dirijăm printr-o serpentină S de metal sau de sticlă în care se condensează spre un rezervor de colectare R (fig. 5.9). Serpentina şi rezervorul sînt scufundate într-un calorimetru C care conţine iniţial apă rece. Măsurăm în timpul experimentului temperatura apei din calorimetru. Vom constata că temperatura apei din calorimetru creşte cu cîteva zeci de grade, deşi în rezervor s-a colectat puţină apă.

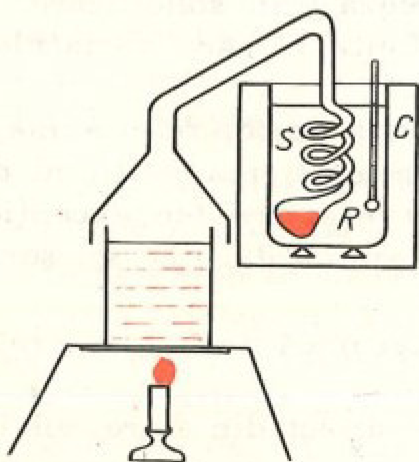


Fig. 5.9. Condensarea vaporilor de apă într-o serpentină.

Aceasta înseamnă că cea mai mare parte din căldura necesară încălzirii apei din calorimetru a fost obţinută de la vaporii care s-au condensat şi doar o mică parte, de la apa din rezervor care s-a răcit după condensare.

Prin definiţie, *căldura necesară unităţii de masă dintr-un corp solid spre a se topi la temperatura de topire se numeşte căldură latentă de topire*, şi se notează cu λ. Conform acestei definiţii

$$\lambda = \frac{Q}{m},$$

în care Q este căldura necesară pentru topirea corpului de masă m. Din relaţia anterioară rezultă $[\lambda]_{SI} = 1$ J/1 kg.

Căldura latentă de topire are valori diferite pentru diferite corpuri, este determinată experimental şi se dă în tabele.

Căldura necesară pentru a topi o cantitate m de substanţă este dată de relaţia

$$Q = m\lambda.$$

Aceeaşi căldură o degajă lichidul prin solidificare şi prin urmare se calculează cu aceeaşi formulă.

Temperaturi de topire (solidificare) şi călduri latente de topire ale unor substanţe

Substanţa	Temperatura de topire °C	Căldura latentă de topire (10^5 J/kg)
Gheaţă	0	3,3
Fier	1 535	2,7
Cupru	1 083	1,8
Mercur	—39	0,12
Aluminiu	660	3,8

În mod analog se defineşte căldura latentă de vaporizare a unui lichid, notată cu litera λ_v

$$\lambda_v = \frac{Q}{m},$$

Q fiind căldura absorbită la vaporizarea unităţii de masă a lichidului la temperatura de vaporizare. Aceeaşi căldură se cedează la condensarea vaporilor. Căldurile latente sînt specifice fiecărei substanţe. Ele se dau în tabele.

Temperaturile de fierbere la presiune atmosferică normală şi căldurile latente de vaporizare ale unor substanţe

Substanţa	Temperatura de fierbere °C	Căldura latentă de vaporizare (10^5 J/kg)
Apă	100	23
Mercur	357	2,9
Alcool	78	8,5

Explicarea cinetico-moleculară a transformării stărilor de agregare

Particulele componente ale substanţelor aflate în stare solidă cristalină au energie potenţială minimă. Cunoaştem totodată că la o aceeaşi temperatură viteza de agitaţie termică a moleculelor este constantă şi, prin urmare,

agitația termică nu se modifică. Topirea unei substanțe solide cristaline se produce la o temperatură constantă. Aceasta înseamnă că în timpul topirii agitația termică a moleculelor nu se modifică, dar se mărește energia potențială. Diferența de energie necesară trebuie furnizată din exterior. Astfel se explică faptul că în timpul topirii se ia din exterior căldura de topire. O explicație asemănătoare se poate da și pentru fierberea sau vaporizarea unui lichid. Dacă vom presupune că în stare de vapori moleculele sînt suficient de îndepărtate între ele încît forțele de interacțiune să fie neglijabile, rezultă că în această stare moleculele nu posedă energie potențială ci numai energie cinetică.

Rezumat

Substanțele au o structură atomo-moleculară. Cea mai mică particulă dintr-o substanță se numește atom.

Unitatea atomică de masă este $\frac{1}{12}$ din masa atomului de ^{12}C: $1u = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg.

Teoria conform căreia substanțele sînt formate din molecule și atomi se numește teoria atomo-moleculară. Între molecule se exercită forțe de atracție sau de respingere numite forțe intermoleculare, iar distanțele dintre molecule se numesc spații intermoleculare. Moleculele se găsesc într-o permanentă stare de mișcare, cu atît mai rapidă cu cît temperatura este mai ridicată, mișcare numită agitație termică. În natură, corpurile se află în stare de agregare solidă, lichidă, gazoasă. Corpurile solide pot avea o structură cristalină sau amorfă.

La trecerea unui corp dintr-o stare de agregare în alta se primește sau se cedează căldura $Q = m\lambda$; λ este o constantă care depinde de natura substanței din care este alcătuit corpul și de transformarea stării de agregare; se numeste căldură latentă.

Întrebări, exerciții, probleme

1. În cît timp s-ar număra toate moleculele dintr-un cm^3 de apă dacă se pot număra cîte 1 000 molecule pe secundă?

2. Explicați dispariția fumului în aer.

3. La reparația drumurilor mirosul asfaltului fierbinte se simte de departe. De ce?

4. Cînd un gaz este comprimat presiunea lui se mărește. De ce?

5. De ce sar cu zgomot scîntei din lemnele care ard?

6. De ce țesăturile de bumbac după spălare se scurtează?

7. De ce firele de păr ale unei pensule se împrăștie în apă dar

se alipesc cînd scoatem pensula din apă?

8. Apa are densitate mai mică decît nisipul. De ce, totuşi, vîntul ridică în deşert nori de nisip dar pe mare numai cantităţi mici de apă?

9. Unele insecte mici căzînd pe apă nu pot ieşi afară, iar altele pot păşi pe apă. De ce?

10. De ce două picături de mercur, atingîndu-se, se contopesc într-una singură?

11. Nu este bine să astupăm un bidon cu benzină cu un dop învelit într-o cîrpă. De ce?

12. La secetă terenul nearat se usucă tare? Dar cel arat? De ce?

13. Un cub tăiat dintr-un monocristal (corp format din aşezarea compactă a cristalelor elementare), încălzindu-se, se preface într-un paralelipiped oblic. Cum se explică acest fapt?

14. De ce la ger zăpada scîrţîie sub picioare?

15. În tabelele cu temperaturi de topire şi călduri latente nu se dau date pentru sticlă. De ce?

16. De ce heleşteiele îngheaţă înaintea rîurilor?

17. În timpul rece se poate observa cum picăturile de ploaie, căzînd jos, se sparg, îngheaţă şi formează polei. Cum se explică îngheţarea rapidă a picăturilor?

18. Primăvara gheaţa pluteşte pe rîuri. Pornind de la această observaţie, puteţi trage o concluzie privind modul cum variază volumul apei cînd îngheaţă?

19. Se va topi o bucată de gheaţă care are temperatura de 0°C dacă se pune într-un vas cu apă la 0°C?

20. O sticlă cu apă este pusă în gheaţă la 0°C iar alta în apă la 0°C. Va îngheţa apa în vreuna din sticle?

21. Fonta solidă se scufundă în cea topită?

22. Pe timp de iarnă, din radiatoarele unor automobile şi tractoare se dă drumul la apă, dacă maşinile nu lucrează timp îndelungat. De ce?

23. Ce cantitate de căldură este necesară pentru a topi 10 kg gheaţă cu temperatura de 0°C?

R: 3,3 MJ.

24. O sticlă cu apă este lăsată afară la ger. Ce se va întîmpla cu sticla cînd apa va îngheţa?

25. Ce căldură degajă o cantitate de apă cu masa de 8 kg şi temperatura de 20°C dacă se răceşte pînă la 0°C şi îngheaţă?

R: $\approx$ 3,3 MJ.

26. O picătură de apă căzută pe o plită fierbinte începe să sară pe ea. De ce?

27. De ce iarba cosită se usucă mai repede la vînt decît pe timp liniştit?

28. De ce ploaia răcoreşte aerul?

29. De ce ceaiul se răceşte mai repede dacă suflăm în el?

30. Într-o sticlă învelită în cîrpă umedă apa are o temperatură mai coborîtă decît a mediului înconjurător. De ce?

31. De ce după o baie în bazin, ieşind afară, ne este frig?

32. Se ştie că eliminarea transpiraţiei şi evaporarea ei fereşte organismul de supraîncălzire. De ce în aer uscat omul suportă temperaturi care pot întrece chiar 100°C?

33. De ce într-o haină de cauciuc se suportă greu căldura?

34. Ce căldură este necesară pentru fierberea unei cantităţi de 4 kg apă la temperatura de 100°C?

R: 9,2 MJ.

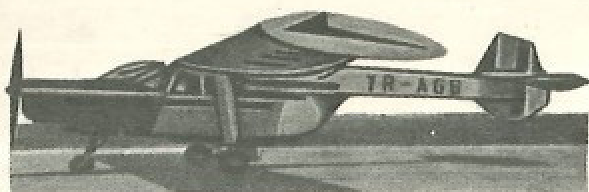
35. Un bulgăre de gheaţă cu masa de 800 g cu temperatura de 0°C a fost topit, apa rezultată a fost încălzită pînă la 100°C şi un sfert din ea a fost eliminată prin fierbere. Ce căldură a fost necesară?

R: ≈ 1 MJ.

CUPRINS

Aplicații ale motorului termic

Utilizări ale motorului termic



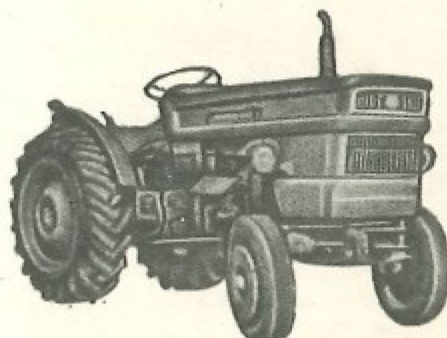
Avion utilitar



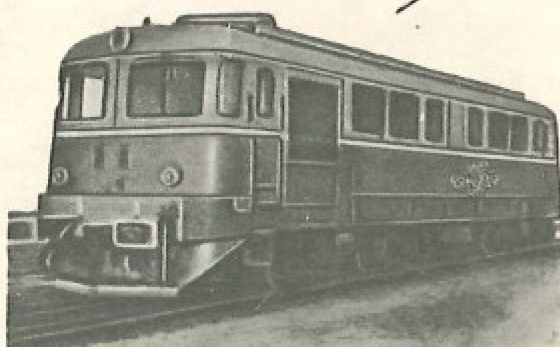
Autoturism Dacia 1 300



Microbuz TV



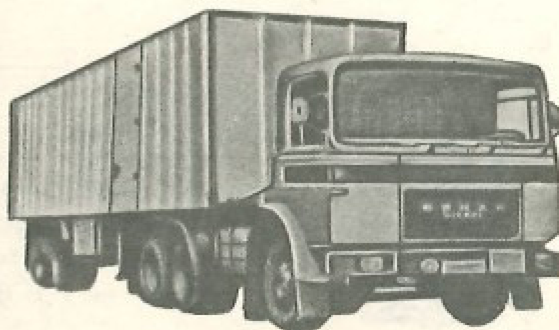
Tractor Universal 445-V



Locomotivă Diesel-electrică



Autoturism de teren Aro-240



Autoutilitara Roman — Diesel

